

Mestrado em Ciências do Desporto

Treino Desportivo

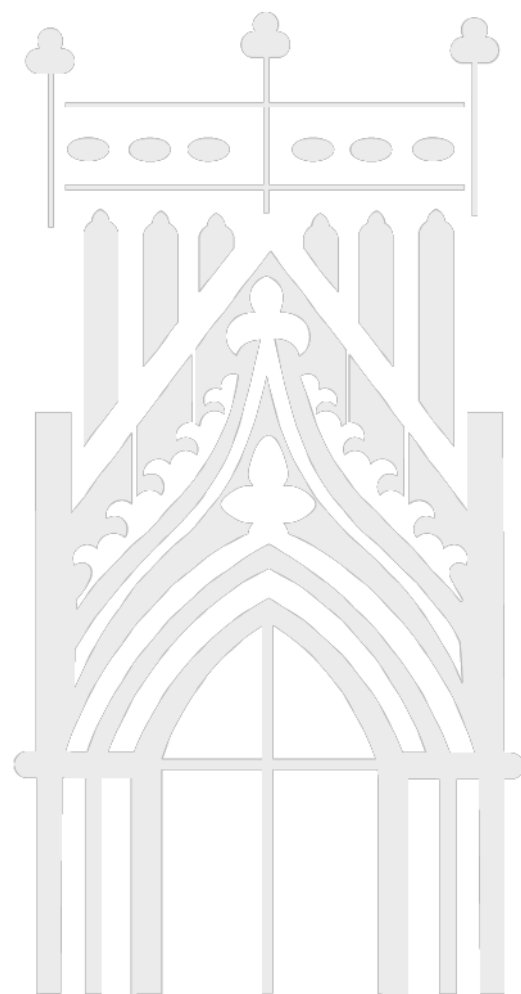
Comparação da força propulsiva e das assimetrias
entre as técnicas de nado alternadas em condições
de nado completo e de nado segmentar.

Pedro Henrique Cunha Rodrigues

julho | 2019



Escola Superior de
Educação, Comunicação
e Desporto





Mestrado em Ciências do Desporto

Treino Desportivo

Comparação da força propulsiva e das assimetrias entre as técnicas de nado
alternadas em condições de nado completo e de nado segmentar

Pedro Henrique Cunha Rodrigues

Guarda 2019



Projeto de investigação apresentado com
vista à obtenção do grau de mestre em Ciências do
Desporto - Área de especialidade em Treino
Desportivo, da Escola Superior de Educação,
Comunicação e Desporto, do Instituto
Politécnico da Guarda, segundo o regulamento nº181/2016 publicado em DR,
n.º 36, de 22 de fevereiro.

Orientador: Professor Doutor Mário Jorge de Oliveira Costa

Pedro Henrique Cunha Rodrigues

Guarda 2019

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração do Instituto Politécnico da Guarda, enquanto instituição, e de todos os docentes, colegas de curso e amigos que me acompanharam nesta etapa de formação.

Enalteço toda a competência e vontade de ensinar do Professor Doutor Mário Jorge Costa que sempre se demonstrou disponível para orientar e clarificar todas as minhas dúvidas ao longo da minha formação académica.

Ao Raúl Bartolomeu pela amizade construída pela vontade de ajudar, explicar e aconselhar ao de todo o desenrolar da tese.

Ao Clube de Natação da Guarda e a Associação Desportiva de Penafiel, pela colaboração, disponibilidade e cedência dos atletas para a realização das avaliações.

Resumo

O estudo da força propulsiva em natação pura, implica a análise detalhada das assimetrias entre os membros em ação. Esta comparação poderá ser uma ferramenta importante para diagnóstico do processo de treino, com especial ênfase na técnica de nado. O objetivo do presente estudo foi avaliar as assimetrias propulsivas nas técnicas de nado alternadas decorrentes de diferentes condições de exercitação. 13 nadadores do sexo masculino ($15,91 \pm 3,18$, anos de idade) com pelo menos 2 anos de experiência em competições, realizaram aleatoriamente 4 sprints de 25m à velocidade máxima em 3 variantes: nado completo, só com membros superiores e só com membros inferiores. A medição da força propulsiva foi efetuada com recurso a um sistema de pressões diferenciais (Aquanex System, STR, EUA). Como variáveis definiram-se: (i) força máxima ($F_{\text{máx}}$, N) e (ii) índice de assimetria (IS, %). Um $IS > 10\%$ é considerado como podendo induzir assimetrias na técnica de nado. Recorreu-se ao teste de Wilcoxon para a comparação entre as diferentes técnicas de nado com um nível de significância de 5%. Verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força entre técnicas de nado produzida pelos membros inferiores na condição de nado completo, na ação do membro dominante ($p < 0,01$), e do membro não dominante ($p = 0,05$). Verificou-se por fim um IS somente no estilo de nado costas dos membros superiores no nado segmentar (9,31%). Importa reforçar que este índice parece tender a diminuir quando se passa de uma condição de nado completo para nado segmentar em ambas as técnicas. Em conclusão, isto revela a importância de os treinadores monitorizarem o nível de assimetrias quando o nado requer coordenação inter-segmentar.

Palavra chave: Natação, Aquanex, assimetrias, técnicas alternadas.

Abstract

The aim of this study was to compare propulsive forces and symmetry between front crawl and backstroke while swimming at full stroke or using segmental patterns (only arms or legs motions). Thirteen male swimmers (15.91 ± 3.18 years old) with at least 2 years of experience in competitions, randomly performed 4 sprints of 25m at maximum speed in 3 conditions: (i) full swimming stroke, (ii) with upper limbs actions using a pull-boy, and; (iii) with lower limbs kicking. Propulsive force data was measured using a differential pressure system (Aquanex System, STR, USA). The variables were defined as follows: (i) maximum force (F_{max} , N) for both dominant and non-dominant limbs related to hands and feet, and (ii) asymmetry index (IS, %). An $IS > 10\%$ was considered as being able to induce asymmetries in the swimming technique. The Wilcoxon signed rank test was used to compare the differences between dominant and non-dominant limbs and to compare swimming techniques (front crawl vs backstroke) with a significance level of 5%. Most of the variables remained similar when comparing force production between limbs (dominant and non-dominant). Significant differences were just found when comparing the production of F_{max} between swimming techniques in respect to the lower limbs at the full stroke condition, when dissecting the dominant limb ($p < 0.01$), and the non-dominant limb ($p = 0.05$). Finally, a IS higher 10% was found for the majority of the swimming conditions, but not at backstroke for the upper limbs in segmental swimming (9.31%). The SI tended to decrease when moving from a full to a segmental swimming stroke. In conclusion, it seems that propulsive force not differs between front crawl and backstroke. This sustains that both swimming strokes have similar patterns and should be included simultaneously in the teaching model by teachers. However, some caution should be considered due to the level of asymmetries that can be presented at some levels of the teaching or training process, reinforcing the work in inter-segmental coordination.

Keywords: Swimming, Aquanex, asymmetries,

Lista de Publicações

- BARTOLOMEU R, RODRIGUES P, MORAIS JE, MARINHO DA, COSTA MJ, BARBOSA TM (2018) Avaliação das assimetrias propulsivas em nado livre: ferramenta e diagnóstico para o processo de treino. *Motricidade*, 14(2-3): S145. Atas do 41º Congresso Técnico Científico da Associação Portuguesa de Técnicos de Natação. Braga.
- RODRIGUES P, BARTOLOMEU RF, BARBOSA TM, COSTA MJ (2019) Avaliação das assimetrias propulsivas nas técnicas de nado alternadas. *Motricidade*, in press. Atas do 42º Congresso Técnico Científico da Associação Portuguesa de Técnicos de Natação. Portimão.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Lista de Publicações	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de abreviaturas	xiii
1. Introdução.....	1
2. Revisão da literatura	3
1. Mecânica de fluidos	3
2. Avaliação da força propulsiva em natação	6
3. Assimetrias propulsivas em natação	11
3. Definição do Problema.....	15
4. Objetivos	17
4.1 Objetivo Geral.....	17
5. Hipóteses	19
6. Metodologia.....	21
6.1 Amostra.....	21
6.2 Desenho do estudo	21
6.3 Procedimento Estatísticos	24
7. Resultados.....	25
8. Discussão.....	35
9. Conclusão.....	39
10. Propostas Futuras.....	41
11. Bibliografia.....	43
Anexos	48

Índice de Figuras

- **Figura 1** Nado de braços estendidos correspondendo ao modelo da braçada circular. Adaptado de Counsilman (1968)..... 5
- **Figura 2** O posicionamento da mão, influência do ângulo de inclinação e sua contribuição na geração de apoio propulsivo (Cholet, 1990)..... 5
- **Figura 3** Desenho representativo de uma possível metodologia a adotar no teste de nado amarrado (1- Célula de carga, 2- sistema da aquisição de dados e 3 - computador pessoal), adaptado de Morouço et al (2011)..... 9
- **Figura 4** Disposição do hardware e respetivo software do sistema de pressões diferenciais 22
- **Figura 5** Instrumentação do sujeito com o sistema de pressão diferencial. 23
- **Figura 6** Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros superiores na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b). 25
- **Figura 7** Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros superiores na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b). 26
- **Figura 8** Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros inferior na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b). 27
- **Figura 9** Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros inferior na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b). 28
- **Figura 10** Valores de Força propulsiva dos membros superiores na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). 29
- **Figura 11** Valores de Força propulsiva dos membros superiores na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). 30
- **Figura 12** Valores de Força propulsiva dos membros inferiores na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). 30
- **Figura 13** Valores de Força propulsiva dos membros inferiores na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). 31
- **Figura 14** Valores de Força propulsiva dos membros superiores na condição de nado completo, no nado crol (painel a) e no nado costas (painel b). 32
- **Figura 15** Valores de Força propulsiva dos membros inferiores na condição de nado completo, no nado crol (painel a) e no nado costas (painel b). 32

- **Figura 16** Índice de simetria nas condições de nado completo e nado segmentar na técnica de crol. 33
- **Figura 17** Índice de simetria nas condições de nado completo e nado segmentar na técnica de costas..... 33

Índice de abreviaturas

CFD - Dinâmica Computacional de Fluidos

IS - Índice de assimetria

MS - Membros superiores

MI - Membros Inferiores

D - Dominante

ND - Não dominante

NS - Nado segmentar

NC - Nado completo

Fmáx - Força Máxima

FG - Frequência gestual

p - Índice de significância

CC - Nado Completo

CMS - Membros Superiores

CMI - Membros Inferiores

1. Introdução

No âmbito da natação pura desportiva o que separa o vencedor dos restantes nadadores são pequenas frações de segundo. Para isso, importa nadar a distância total da prova de acordo com as regras e no menor tempo possível. Neste enquadramento, tem-se considerado a velocidade média de nado como um melhor indicador do rendimento e como fator discriminativo de níveis competitivos (Hay, 1981). Para se atingir esse objetivo, é necessário o aperfeiçoamento de um conjunto de domínios que se consideram preditores do rendimento, e que recorrentemente têm sido apontados e descritos em modelos determinísticos da modalidade (Barbosa et al., 2013). De entre um conjunto de fatores, salienta-se os aspetos técnicos e físicos que, em conjunto, permitem aumentar a capacidade propulsiva do nadador, e por consequência diminuir a resistência ao deslocamento. Por isso, é de realçar que a força propulsiva aplicada em cada braçada ou pernada é um importante indicador para o rendimento em natação (Morouço et al. 2011).

Nos últimos anos, a força propulsiva em ambiente aquático tem sido objeto de análise criteriosa com o intuito de poder ajudar no processo de planeamento dos treinadores (Mooney et al., 2015). Embora tenham sido realizados alguns estudos nesta vertente, a verdade é que estes diferem nos métodos e/ou equipamentos usados para avaliar a força dentro de água. Assim, das diferentes metodologias adotadas destacamos: (i) estimativas indiretas; (ii) dinâmica computacional de fluidos; (iii) nado amarrado, e; (iv) sensores de pressão. Até aos dias de hoje é discutível qual destas será a abordagem com maior fiabilidade. No entanto, a análise da força com recurso a sensores diferenciais de pressão permite ao nadador realizar o movimento na sua plenitude sem constrangimentos, sem recurso a estimativas indiretas e/ou simulações numéricas.

A análise de forças propulsivas é uma abordagem importante porque, para além de auxiliar na prescrição do treino efetivo, permite ainda a deteção de assimetrias durante o nado. A aplicação diferenciada de força entre os membros dominante e não dominante tem relação com o desempenho (Morouço et al, 2010). Mesmo sabendo que certo nível de assimetria é aceitável, devido às diferenças inerentes ao corpo humano (Jaszczak, 2008), a diferença bilateral na produção de força durante o nado leva a uma capacidade técnica instável em que ações musculares compensatórias podem aumentar a suscetibilidade a lesões (Evershed et al., 2014). Segundo Sanders et al. (2011), para atingir um desempenho de nível elevado, ambos os braços e pernas devem contribuir de maneira equitativa e ótima para maximizar a propulsão e para diminuir o arrasto.

Os escassos estudos dentro desta temática que compararam o comportamento propulsivo nas quatro técnicas apenas analisaram a força propulsiva de forma singular. Marinho et al. (2011),

investigaram a relação entre a força propulsiva e o desempenho nas quatro técnicas de nado, não se focando na assimetria bilateral. Portanto, existe ainda espaço no estado da arte para compreender a etiologia, os mecanismos e os impactos da produção de força assimétrica em diferentes condições e diferentes técnicas de nado.

Deste modo, o presente projeto pretende contribuir com maior magnitude para uma prescrição do treino num formato mais individualizado de nadadores. Para isso objetivou-se efetuar uma análise da força propulsiva aplicada por diferentes segmentos (braços e pernas) nas duas técnicas de nado alternadas: crol e costas.

2. Revisão da literatura

1. Mecânica de fluidos

É necessário, primeiramente, estar familiarizado com os conceitos e termos básicos da mecânica de fluidos e, assim, entender de forma concreta, os padrões de direção, de velocidade e das diferenças de pressão existentes no meio aquático gerando a propulsão desejada pelo atleta (Colwin, 1992).

Segundo o teorema de Arquimedes “todo o corpo imerso num líquido está sujeito a uma força que se exerce no sentido vertical e ascendente, igual ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo.” Essa força, segundo Barbosa e Queirós (2005) é a força de impulsão hidrostática cujo o seu ponto de aplicação é o centro geométrico do corpo (centro de impulsão), tem uma direção vertical, sentido de baixo para cima e uma intensidade determinada pela expressão:

$$I = V \times \gamma$$

Em que (I) representa a Força de impulsão Hidrostática (V) o volume de Líquido deslocado e (γ) o peso específico do líquido. Ou seja, a impulsão tenderá a aumentar com o aumento do volume de líquido deslocado e/ou o peso específico do fluido.

Relativamente ao equilíbrio, segundo Barbosa e Queirós (2005) no meio aquático, o equilíbrio do sujeito depende da inter-relação entre a força de impulsão hidrostática e a força da gravidade. Ao ponto de aplicação do vetor “peso” intitula-se de centro de gravidade e do vetor “impulsão” de centro de impulsão. O equilíbrio pode ser dividido em:

- Equilíbrio estável
- Equilíbrio Instável
- Equilíbrio indiferente

Nesse momento, é relevante esclarecer alguns princípios básicos referentes às características e propriedades da hidrodinâmica.

O deslocamento de um corpo no meio está dependente da interação de dois tipos de forças externas, a propulsão e o arrasto. Iremos inicialmente explorar a definição de arrasto e de seguida incidiremos a nossa atenção sobre o mecanismo propulsivo e as suas principais teorias.

Quando um nadador se desloca próximo da superfície da água, este enfrenta três categorias de arrasto: arrasto de fricção, arrasto de pressão ou forma e arrasto de onda (Toussaint, 2002). O arrasto de fricção representa o arrasto que é produzido como resultado da fricção entre

a água e a superfície de um corpo em movimento, que aumenta linearmente com o aumento da velocidade de nado. A conjugação da área de superfície corporal, com o tipo de superfície, determina a quantidade de arrasto de fricção produzida. (Toussaint, 2000) , (Zatsiorsky, 2000). Relativamente ao arrasto de pressão é produzido através de um diferencial de pressões existentes entre a retaguarda e a frente do nadador, variando com o quadrado da velocidade de deslocamento deste. Este arrasto fornece informações sobre a qualidade da posição hidrodinâmica do nadador, uma vez que está diretamente relacionada com a área de secção transversal do mesmo. (Toussaint, 2000) (Zatsiorsky, 2000)

O arrasto de onda ocorre quando a deslocação do nadador é feita à superfície ou perto desta, originando a criação de ondas, pelo facto de existirem dois meios com densidades distintas. O arrasto de onda parece ser o mais prejudicial das três componentes do arrasto, já que varia numa razão quadrática com a velocidade de nado (Toussaint, 2000)

Ao longo dos tempos foram surgindo várias teorias que explicam o processo de propulsão no meio líquido. De seguida, e de uma forma sintética, iremos abordar três teorias:

- Teoria do arrasto Propulsivo;
- Teoria Ascensional Propulsiva;
- Teoria dos Vórtices.

A **teoria do arrasto propulsivo** baseia-se na terceira Lei do movimento de Newton: "a cada ação opõe-se uma força de igual direção, de sentido oposto e de igual intensidade".

Segundo Maglischo (1986) e Vilas Boas (1987), a primeira teoria explicativa da mecânica propulsiva em natação ficou a dever-se a Counsilman (1968). Em que, de acordo com esta teoria, no caso de um nadador realizar uma braçada da frente para trás, este vai-se deslocar-se para a frente. À força que produz esse deslocamento, denomina-se de Força de Arrasto Propulsivo. Assim se explica que a ação subaquática dos membros superior na natação pura seja ântero-posterior, no sentido de gerar este tipo de força. (Barbosa, 2005).

Assim, a Força de Arrasto Propulsivo tem a direção do movimento, é de sentido oposto a esse movimento e a sua intensidade (figura 1)

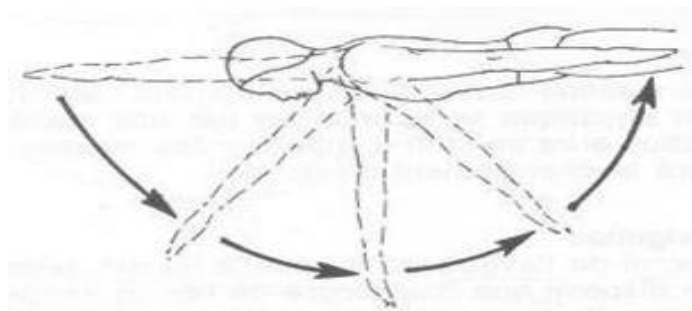


Figura 1 Nado de braços estendidos correspondendo ao modelo da braçada circular. Adaptado de Counsilman (1968)

Ao observar o ciclo gestual dos nadadores, constatou-se que este nem sempre era do tipo retilíneo com um sentido ântero-posterior, como pressupunha a teoria do arrasto propulsivo. Assim sendo, haveria algo mais para explicar o mecanismo propulsivo no meio aquático. (Barbosa, 2005). A partir daí, surgiu como alternativa à 3ª lei de Newton, a **teoria ascensional propulsiva** (Hay, 1988) apoiada no princípio de Bernoulli. Esta teoria "a relação entre a velocidade e a pressão de escoamento dos fluidos é inversa." Por outras palavras, num meio fluido, quanto maior a pressão, menor a velocidade de escoamento e vice-versa (Barbosa, 2005).

A principal mudança introduzida por esta teoria foi a consideração de que a estabilização antero-posterior dos apoios realizados pelo nadador no meio aquático é conseguida devido à produção, não apenas de força de arrastamento propulsivo, mas também de força ascensional hidrodinâmica (Vilas Boas, 1987). Esta mesma força ascensional contrariamente à força de resistência nem sempre é gerada quando um corpo se desloca através da água. Os fatores que determinam a produção dessa força estão interligados com o ângulo de ataque. A mão do nadador, para além de potenciar o efeito ascensional para a sua propulsão durante o deslocamento dos seus segmentos propulsivos e da diferença de pressões entre a parte superior e inferior da mão, que depende da inclinação da mão relativamente ao seu trajeto motor, vai contribuir diretamente para a propulsão (Counsilman, 1977). (figura 2).

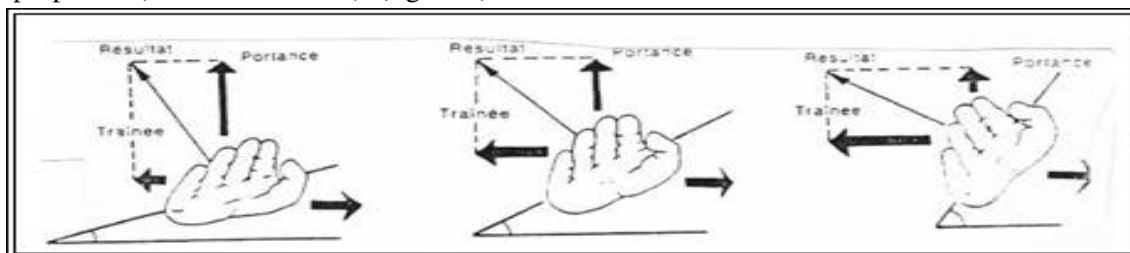


Figura 2 O posicionamento da mão, influência do ângulo de inclinação e sua contribuição na geração de apoio propulsivo (Cholet, 1990)

O ângulo de inclinação da mão relativamente à direção do deslocamento dos segmentos propulsivos vai ter uma importância crucial no resultado final da propulsão.

Com o objetivo de analisar os movimentos provocados na água em resposta aos movimentos do nadador, Ungerechts (1985) e Colwin (1992) propuseram uma nova abordagem, designada por **teoria dos vórtices**. Hay (1988) considera que a teoria dos vórtices não se constitui como alternativa à teoria da força ascensional, mas, pelo contrário, complementa-a ao equacionar as possibilidades de produção de força propulsiva em condições de escoamento instável.

Esta nova teoria procura atribuir um significado aos padrões de ondas e de circulação da água criados pelos movimentos propulsivos dos nadadores. Segundo Colwin (1992) um vórtice, ou circulação de fluxo, é criado pelo deslocamento rápido do segmento propulsivo ao mudar de direção. À medida que o vórtice vai sendo formado, verifica-se uma transferência de quantidade de movimento do fluido e, como reação, o seu impulso acelera o corpo do nadador na direção contrária (Ungerechts, 1985).

2. Avaliação da força propulsiva em natação

Segundo Costa et al. (2009), vários autores salientam a importância da especificidade dos testes em natação, referindo que a característica mais importante de um protocolo de testagem é que seja o mais específico possível da modalidade. No caso da natação, esta ideia implica que a avaliação com o nadador ocorra dentro de água. Adicionalmente, pretende-se que, num momento experimental, o nadador aproxime o seu padrão motor o tanto quanto possível ao verificado em condições reais de treino e/ou competição. Este tópico mostra o estado atual da tecnologia utilizada em sistemas de avaliação da força propulsiva em natação.

Dos vários parâmetros influenciadores do rendimento em natação pura, a medição das forças exercidas pelo nadador poderá ser uma abordagem útil para a identificação de quais os pontos mais débeis e mais fortes de cada nadador (Toussaint, 2006). Neste sentido, a força exercida por cada nadador pode ser medida ou estimada através de variados sistemas de avaliação, nomeadamente: (i) dinâmica inversa; (ii) dinâmica computacional de fluidos; (iii) nado amarrado e; (iv) sensores de pressão. De seguida passaremos a descrever cada um destes métodos para melhor entendimento do leitor.

(i) Dinâmica Inversa

O método de dinâmica inversa é uma solução matemática para estimar as forças a partir da avaliação das propriedades inerciais e cinemáticas de um corpo ou segmento (Vilas-Boas, 2016).

Modelos são representações simplificadas de sistemas complexos, uma vez que, reduzindo a complexidade, pode-se aumentar o conhecimento, mesmo que sejam necessárias algumas suposições. Os modelos biomecânicos assentes na dinâmica inversa descrevem os movimentos humanos por meio de equações, assentes nas leis da mecânica (McGinnis, 2015). Por outras palavras, a partir do conhecimento de parâmetros externos, como a aceleração medida num marcador anatómico, ou acelerômetro acoplado ao corpo, ou mesmo da força medida na plataforma de forças ou célula de carga, pode-se estimar a carga interna articular ao realizar um movimento, como caminhar, correr, saltar ou nadar (Loss et al., 2006).

(ii) Dinâmica Computacional de fluidos (CFD)

A CFD é uma metodologia numérica que tem vindo a ser aplicada na área das atividades aquáticas de forma a observar e entender os movimentos da água em redor do corpo humano e a sua aplicação de forma a melhorar a técnica e/ou equipamentos de nado, contribuindo assim para o aumento da performance (Marinho et al., 2009).

A CFD tem duas grandes áreas de intervenção nas atividades aquáticas em geral e na natação em particular: (i) análise da força propulsiva produzida pelos segmentos corporais propulsivos; (ii) análise da força resistiva ao deslocamento (Morais, 2011).

A possibilidade de obtenção de dados, não havendo necessidade de executar testes utilizando corpos reais de nadadores, é uma enorme mais-valia, não só em termos de custos associados, como também em termos de eficiência de tempo, dado que, a qualquer momento existe a possibilidade de efetuar uma nova simulação e alterar as variáveis, permitindo a comparação dos dados obtidos (Ramos, 2011). Conclui-se assim, que esta técnica de simulação numérica é atualmente uma das melhores ferramentas numéricas no campo da engenharia biomecânica (Marinho et al., 2009). Esta ferramenta possibilita a simulação computacional do comportamento de fluidos, analisando e resolvendo problemas em que estes estão envolvidos. Contudo, não considera a individualidade biológica na produção da força, dado que esta difere entre nadadores no seio de um grupo.

Após utilização da CFD em diversos estudos Silva (2005) centrou-se em dois objetivos: i) dar continuidade ao uso da CFD como uma nova metodologia de investigação na Natação; ii) aplicar a CFD no cálculo dos coeficientes de resistência (CR) e sustentação (CS) resultantes da simulação numérica do fluxo externo da mão e antebraço. Para este efeito, utilizou três modelos bidimensionais de um escoamento em regime permanente. Um modelo frontal e dois modelos laterais, um tendo o dedo polegar como bordo de e o outro tendo o dedo mindinho como bordo de ataque. O sistema de resolução de equações utilizado foi o das equações de Navier-Stokes,

para fluidos não compressíveis. Os principais resultados, demonstraram que o CR foi o coeficiente que contribuiu mais para a propulsão, sendo constante para toda a amplitude de velocidades com um valor máximo de 1,16. Com base nos resultados alcançados concluíram que a DCF pode ser considerada uma nova metodologia suscetível de desenvolvimento para o cálculo de forças hidrodinâmicas em Natação e nos três modelos estudados o CS parece ter uma importância secundária na geração de força propulsiva.

Já Marinho et, al. (2009) através de CFD, procurou estudar a importância da posição relativa dos dedos durante o trajeto subaquático da mão. Foram testadas as características hidrodinâmicas de um modelo de uma mão de um nadador de elite, obtido através de tomografia axial computadorizada, com diferentes espaçamentos entre os dedos. Desenvolveram um volume computacional para simular o escoamento da água em torno do modelo de mão do nadador em três posições: (i) dedos juntos, (ii) dedos com um pequeno afastamento (0,32 cm de distância entre os dados) e, (iii) dedos com um grande afastamento (0,64 cm). Calcularam as forças produzidas pela mão (coeficiente de força de arrasto propulsivo e de força ascensional) com diferentes orientações do modelo, tentando simular diferentes orientações da mão durante o trajeto motor subaquático, com o programa computacional Fluent. Os principais resultados encontrados revelaram que o modelo com um pequeno afastamento dos dedos apresenta valores mais elevados de coeficiente de arrasto propulsivo em comparação com os outros dois modelos. Os valores do coeficiente de força ascensional apresentam apenas pequenas diferenças entre os três modelos, nos vários ângulos de orientação testados. Concluíram que a colocação da mão com um ligeiro afastamento dos dedos pode permitir a criação de mais propulsão durante o trajeto subaquático da mão dos nadadores, podendo levar a um aumento da eficiência propulsiva com uma consequente melhoria da performance de nado (Marinho et, al 2009).

(iii) Nado amarrado

Com o intuito de diminuir os constrangimentos relacionados com a falta de especificidade de algumas metodologias, Holmér (1979) e Bonen (1980) citados por Alves (1995), apresentaram o nado amarrado como uma metodologia que oferece consideráveis semelhanças quanto às manifestações metabólicas em comparação ao nado em condições normais. O nado amarrado pode surgir como uma ferramenta útil para os treinadores, possibilitando a realização de avaliações biomecânicas e bioenergéticas com o nadador a replicar, com elevada proximidade, o comportamento em nado livre (Keskinen, 1997). Esta instrumentação permite a medição das forças que correspondem às forças propulsivas que o nadador terá de produzir em nado livre para superar as forças de arrasto (Dopsaj et al, 2003).

O nado amarrado, como o próprio nome indica, obriga a fixar o nadador a um ponto fixo da piscina, como exemplificado na Figura 3. Apesar de existir uma aproximação ao nado real, e de terem sido já reportada a sua fiabilidade em nadadores de grupos de idade (Amaro et al., 2014), algumas desvantagens continuam a ser apontadas como limitativas para a interpretação dos resultados: (i) o nadador realiza um nado estacionário podendo o escoamento do fluido em torno do corpo não se aproximar do real influenciado, por isso, o conceito de fluabilidade real; (ii) o cabo anexo à célula de carga por vezes sofre contacto com os pés do nadador podendo dessa forma limitar a ação motora da pernada e/ou criar alteração na aquisição de dados.

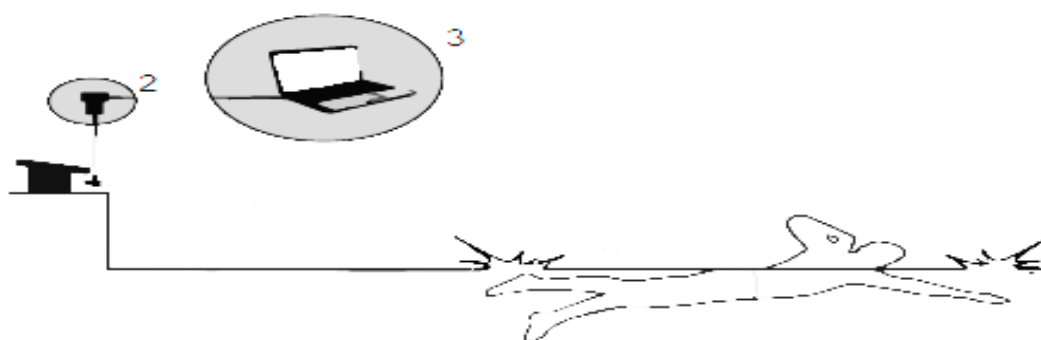


Figura 3 Desenho representativo de uma possível metodologia a adotar no teste de nado amarrado (1- Célula de carga, 2- sistema da aquisição de dados e 3 - computador pessoal), adaptado de Morouço et al (2011)

Mesmo assim, têm existido alguns estudos válidos com recurso ao nado amarrado e com conclusões pertinentes para aplicabilidade em contexto de treino. É o caso do estudo de Morouço et, al. (2015) que procurou examinar a importância da braçada e pernada na máxima velocidade. Vinte e três jovens nadadores de nível nacional (12 do sexo masculino e 11 do sexo feminino) realizaram 3 partidas em diferentes condições de nado (nado completo, apenas braçada e apenas pernada). Um sistema de célula de carga permitiu a medição contínua das forças exercidas, e a velocidade de nado foi calculada a partir do tempo necessário para completar 50 metros crol. Os valores de força máxima foram alcançados aquando do nado completo, (M - $325.4 \pm 27.8^*$ F - 222.3 ± 61.8), só braçada (M- $243.7 \pm 27.7^*$, F - 168.5 ± 36.2) só pernada ($100.1 \pm 28.2^*$ F - 72.0 ± 9.4) Os mesmo autores concluíram que, para obter velocidades mais altas, o sexo masculino está dependente das forças máximas que podem exercer com a braçada enquanto sexo feminino tem valor mais próximo de forças nas diferentes condições de nado. Os mesmos autores apontam para a pernada como tendo um papel importante nas partidas de curta distância.

Morouço et, al. (2011) aplicaram um estudo com o objetivo de identificar as relações entre o desempenho competitivo e forças de exercidas de acordo com a distância de nado nos diferentes estilos. 32 nadadores realizaram um total de 30 segundos a nadar utilizando o sistema de nado amarrando. As velocidades competitivas de nado foram obtidas nas distâncias de 50, 100

e 200 m. A força média e a velocidade (50 m) mostram diferenças significativas para o crawl ($r = 0,92$, $p < 0,01$), costas ($r = 0,81$, $p < 0,05$) verificando-se valores de força máxima de $(232.6 \pm 63.2\text{N})$ e $(211.6 \pm 47.5\text{N})$ respetivamente. O teste de nado amarrado parece ser um protocolo confiável para avaliar a produção de força de afogamento do nadador e um estimador útil do desempenho competitivo em eventos competitivos de curta distância.

(iv) Sensores de Pressão

Os nadadores e treinadores estão cada vez mais recetivos à utilização da tecnologia de modo a melhorar o seu desempenho (Hagem, et al., 2013). Nos últimos anos foram desenvolvidos sensores de pequenas dimensões, que são fixados criteriosamente ao nadador para recolher dados em condições muito próximas do nado real (Callaway, et al., 2009). A utilização destes sensores na natação objetiva verificar as pressões exercidas em cada tipo de movimento, principalmente na fase propulsiva do ciclo de braçada. Este mesmo ainda pode reduzir a necessidade de o treinador retirar dados manualmente, possibilitando assim que se dedique a corrigir aspetos mais técnicos do desempenho do nadador (Davey, et al., 2008; Bachlin, et al., 2009).

Takagi e Wilson (1998) afirmaram que, o uso de sensores de pressão pode ser considerado prático e vantajoso para avaliar a força hidrodinâmica que atua na mão durante o nado. Este facto foi posteriormente corroborado pelo método apresentado por Kudo et al. (2008). Adicionalmente, os sensores de pressão podem ser usados como uma forma de complemento de resultados provenientes do CFD (Takagi et al, 2014).

Pereira, et al (2015) aplicaram um protocolo-o a quatorze nadadores de ambos os sexos ($18,4 \pm 4,9$ anos, massa de $71,8 \pm 14,6$ kg, estatura de $1,78 \pm 0,09\text{m}$. Realizaram três partidas de 25 m máximas velocidade de nadando em estilo mariposa. A força média e a força máxima de cada mão foram estimadas através de sensores de pressão do Sistema Aquanex (Swimming Technology Research, EUA). A força média e a força máxima da mão dominante corresponderam, respetivamente, a $55,7 \pm 14,7$ N e $114,7 \pm 39,6$ N. Para a mão não dominante, os valores foram de $51,2 \pm 14,7$ N para a força média e $110,7 \pm 36,7$ N para a força máxima. Foram encontradas diferenças significativas entre a mão dominante e não dominante para ambas as variáveis ($p < 0,01$). A análise do índice de simetria mostrou valores médios de 8,9% para a força média e de 12,6% para a força máxima, sendo que a maioria dos nadadores apresentou valores maiores do que 10%, para a força média e/ou máxima. Concluíram enaltecendo que análises futuras devam ser feitas, procurando relações da assimetria com o desempenho de nado.

Com o fim de analisar a simetria da força aplicada durante a braçada de bruços e a sua relação com o desempenho dos nadadores, Pereira, et al (2017) aplicaram um protocolo-o a 17

nadadores especialistas no nado de bruços (12 homens e 5 mulheres, $19,5 \pm 5,2$ anos). Cada sujeito realizou três repetições de 25 m em máxima velocidade. A Fmed aplicada foi de $47,9 \pm 16,7$ N e de $47,9 \pm 14,5$ N para as mãos direita e esquerda, respetivamente. A Fmax correspondeu a $120,7 \pm 43,6$ N e $112,8 \pm 35,7$ N para as mãos direita e esquerda, respetivamente. Não foram encontradas diferenças significativas quando comparadas as mãos direita e esquerda. Uma análise individual e descritiva das variáveis permitiu observar assimetrias de até 30,6% para a Fmed e de até 35,9% para a Fmax. Como forma de conclusão, os autores reportaram que não houve relação entre os índices de simetria com o desempenho no nado bruços em 50 m.

3. Assimetrias propulsivas em natação

A análise da simetria sobre as forças aplicadas e seu efeito sobre o desempenho do nado são importantes para orientar métodos de treino. Daqui importa referir a sua utilidade para auxiliar na escolha dos *drills* mais corretos que visem evitar o risco de fadiga precoce, ou lesão facilitada, pela adoção de uma técnica menos correta (Chollet et al., 2000).

Os estudos no âmbito da natação pura desportiva são escassos quando se procura a analisar a dominância do membro superior e inferior. A avaliação dos diferentes padrões, velocidades e forças do nado entre membro dominante e não dominante podem fornecer informações valiosas para melhorar eficiência da braçada, especialmente no caso de nadadores que mostram diferenças notáveis de força entre membros. Estas informações também podem provar-se importantes durante os estágios de evolução dos jovens nadadores, uma vez que a frequência com a qual as crianças usam umas das mãos em detrimento da outra, aumenta com a idade (Colwin, 1992). Outro facto normalmente desprezado é o de que a maioria das pessoas também possui membro inferior dominante, o que explica, parcialmente, porquê que alguns nadadores são incapazes de conseguir uma simetria no nado de crol na pernada na técnica de mariposa (Colwin, 1992).

As técnicas de crol e de costas são descritas pela literatura como um movimento alternado. Isto significa que, enquanto um braço gera propulsão, o outro realiza a recuperação. Porém, essa alternância de movimentos não garante uma atenção direcionada por parte do nadador para cada fase da braçada, e que culmine numa simetria de propulsão (Chollet et al., 2009). Psycharakis e Sanders, (2008) subescrevem esta ideia, afirmando que as assimetrias podem estar relacionadas com uma possível diferença a nível funcional que os diferentes membros superiores assumem, sendo o membro dominante usado principalmente para a propulsão efetiva e o não dominante para controlo e suporte. Os mesmos autores referem que alguns nadadores conseguem aplicar

maior força propulsiva ao realizar a ação com o braço dominante em relação ao não dominante (Psycharakis e Sanders, 2010).

Considerando a respiração como fator influenciador, Seifert et al. (2005) verificaram que as assimetrias são aumentadas em função da respiração quando se analisam os nadadores menos aptos. No caso, nos nadadores de elite, verifica-se uma coordenação inter-segmentar superior, o que permite manter o nado mais eficiente, dissipando as possíveis assimetrias geradas pela ação respiratória (Seifert et al., 2005).

Raul et al (2016) analisaram trinta e oito nadadores (19 homens e 19 mulheres) com diferentes níveis competitivos, mas com pelo menos 2 anos de experiência em competições. Realizaram um sprint máximo de 25m em cada um das três variantes do nado de crol: completo (CC), só com membros superiores (CMS) e só com membros inferiores (CMI). Concluíram que a locomoção humana no meio aquático demonstrou ter propriedades fratais nas 3 variantes do crol, demonstrando um nível de complexidade intra-cíclica superiores no CMS seguida pelo CC e no fim pelo o CMI. Estes resultados sugerem uma maior contribuição da braçada do que da pernada para a complexidade do movimento, tal como acontece com a contribuição relativa dos segmentos para a velocidade. Por sua vez, a entropia revelou que apesar de mais complexos, os padrões de nado do CMS são os mais previsíveis, seguidos pelo CMI e no CC, sugerindo que variantes de nado com a ação de somente 2 segmentos (CMS e CMI) são mais previsíveis do que a variante que utiliza os 4 segmentos (CC).

Morouço (2014) analisaram 22 jovens nadadores (N=14) e femininos (N=8), foram avaliados no início de época ao nível da força isocinética, nado amarrado (30 seg.) e no desempenho nos 50m crol. Os autores identificaram valores de força máxima no membro dominante de $181.07 \pm 63.40\text{N}$ e no não dominante de $138.20 \pm 54.27\text{N}$. Daqui parece surgir algum nível de assimetria. Contudo, os autores não chegaram a reportar o real valor da mesma, apenas referindo que força produzida em situação de nado amarrado tem uma forte relação com a performance de nado em 50m crol.

Chollet et al. (2000) analisaram um grupo de 13 nadadores de elite, onde se comprovou uma coordenação assimétrica para todos os atletas. A duração de entrada e propulsão mostraram-se mais elevadas no braço dominante (51,7%) do que para o braço não dominante (48,4%), oposto da respiração, o que pode acentuar desequilíbrio de forças entre os dois braços. Outro estudo, concluiu que os nadadores apresentaram, em sua maioria, assimetria nos valores de pico de forças entre os membros superiores e que essa assimetria não é causada pelo movimento de respiração lateral do nado crol (Moré et al., 2007). Já Carpes (2009) indica que as assimetrias de força

poderiam ser dependentes de fatores externos referentes à execução da tarefa, o nível de atenção do atleta durante o desempenho, ou talvez aspetos mecânicos referentes a equipamentos.

3. Definição do Problema

A problemática da força propulsiva gerada e das assimetrias verificadas em diferentes técnicas de nado é uma preocupação regular dos treinadores de natação pura desportiva. Parece consensual que as diferentes técnicas de nado demonstram valores de força propulsiva distintos. No entanto, especula-se que a dominância de um dos lados do corpo possa afetar uma produção de força uniforme, criando por isso assimetrias na propulsão. Ao mesmo tempo, não está esclarecido qual o real impacto da posição corporal (ventral vs dorsal) ou do nado segmentar (só pernas vs só braços) neste tipo de indicadores. Aliás, do nosso conhecimento, são inexistentes os estudos que se tenham focado nas assimetrias entre técnicas de nado alternadas. Deste modo formulou-se o seguinte problema: será que existem diferenças em termos de força propulsiva e consequente simetria quando comparas as duas técnicas de nado alternadas nas suas condições de nado completo e de nado segmentar?

4. Objetivos

4.1 Objetivo Geral

Comparação da força propulsiva e das assimetrias entre as técnicas de nado alternadas em condições de nado completo e de nado segmentar

4.2. Objetivo específico

Para concretizarmos o objetivo anteriormente exposto, definimos os seguintes objetivos específicos, que pensamos complementar uma possível discussão e conclusões do nosso trabalho:

Objetivo 1: Analisar e comparar a força propulsiva na ação dos membros superiores na técnica de crol e na técnica de costas.

Objetivo 2: Analisar e comparar a força propulsiva na ação dos membros inferiores na técnica de crol e na técnica de costas.

Objetivo 3: Analisar e comparar as forças propulsivas entre as duas técnicas de nado.

Objetivo 4: Analisar e comparar os valores de simetria entre as duas técnicas de nado.

5. Hipóteses

Decorrentes dos objetivos em cima propostos, e tendo em conta a revisão bibliográfica efetuada, formularam-se as seguintes hipóteses:

Hipóteses 1: Existem diferenças na força propulsiva na ação dos membros superiores na técnica de crol e na técnica de costas.

Hipóteses 2: Existem diferenças na força propulsiva na ação dos membros inferiores na técnica crol e na técnica de costas.

Hipóteses 3: Existem diferenças na força propulsiva entre as duas técnicas de nado.

Hipóteses 4: Existem diferenças nos valores de simetria entre as duas técnicas de nado.

6. Metodologia

6.1 Amostra

Para o presente estudo foi selecionada uma amostra por conveniência, composta por 13 sujeitos com uma média de $15,91 \pm 3,18$ anos de idade, massa corporal de 63.15 ± 12.99 kg, estatura de $1,65 \pm 9,7$ cm e todos do sexo masculino. Assumiram-se como critérios de inclusão: (i) serem nadadores com pelo menos 2 anos de experiência em sessões treino de natação pura desportiva; (ii) não terem sofrido qualquer tipo de lesão nos últimos 6 meses ou durante o período do estudo. (iii) serem nadadores inseridos no quadro competitivo dos clubes que representam e da respetiva federação desportiva;

Todos os sujeitos voluntariaram-se para o estudo. Previamente foram-lhes explicados todos os procedimentos de recolha de forma detalhada para conhecimento de eventuais riscos decorrentes de todo o procedimento experimental. Foi assinado um termo de consentimento no início das avaliações em que os atletas tomavam conhecimento de todo o processo que iriam realizar. De igual forma, foram respeitados os princípios da Declaração de Helsínquia no que diz respeito a procedimentos científicos envolvendo seres humanos.

6.2 Desenho do estudo

Perspetivou-se para este estudo um desenho de carácter transversal. Os nadadores foram avaliados em duas ocasiões distintas não distantes entre si em mais de 2 semanas. Dentro deste raciocínio, numa primeira sessão procedeu-se à recolha dos indicadores de antropometria e à aplicabilidade dos testes na técnica de crol. Na segunda sessão foram recolhidos todos os indicadores com procedimentos semelhantes, mas, desta vez, na técnica de costas.

No início da primeira sessão os nadadores foram sujeitos a medições antropométricas. A altura (em cm) foi obtida com o nadador em posição antropométrica, medindo a distância do vértice ao chão, com recurso a fita métrica em que o atleta realizava uma inspiração seguida de uma expiração e era retirada a medida. Para mediação da massa corporal (em kg), o atleta colocou-se numa balança (SECA, 884, Hamburg, Germany) em posição antropométrica dirigindo o seu olhar para a frente, sendo retirado a sua massa corporal após uma inspiração seguida de uma expiração.

O protocolo dentro de água decorreu numa piscina de 25m (profundidade 1,80m/2m; temperatura da água 25°C e 60 % de humidade no ar). Previamente aos testes propriamente ditos,

os nadadores realizaram um breve aquecimento com uma distância total de 400 m de forma livre, a intensidade baixa como forma de habituação à água e execução do movimento.

Após esta fase deu-se início ao cumprimento de 4 execuções de 25 metros à máxima velocidade (total de 8 nas duas sessões). Os nadadores foram escolhidos de forma aleatória, mantendo essa ordem até ao final de cada sessão. Garantiu-se um tempo mínimo de recuperação de 5 minutos para cada nadador entre execuções por forma a atenuar o efeito de fadiga acumulada. Os nadadores iniciaram os testes individualmente dentro de água, sem a presença de qualquer outro indivíduo nas pistas adjacentes.

Em cada uma das execuções atrás mencionadas objetivou-se a medição das forças propulsivas durante o nado. Para tal, recorremos a um sistema de pressões diferenciais (Aquanex, Swimming Technology Research, US), composto de dois sensores de pressão, um conversor A/D e um software de aquisição (Figura 4). Este é um sistema relativamente recente, mas com elevada fiabilidade na medição dos indicadores propostos tal como descrito anteriormente Havriluk (1988).

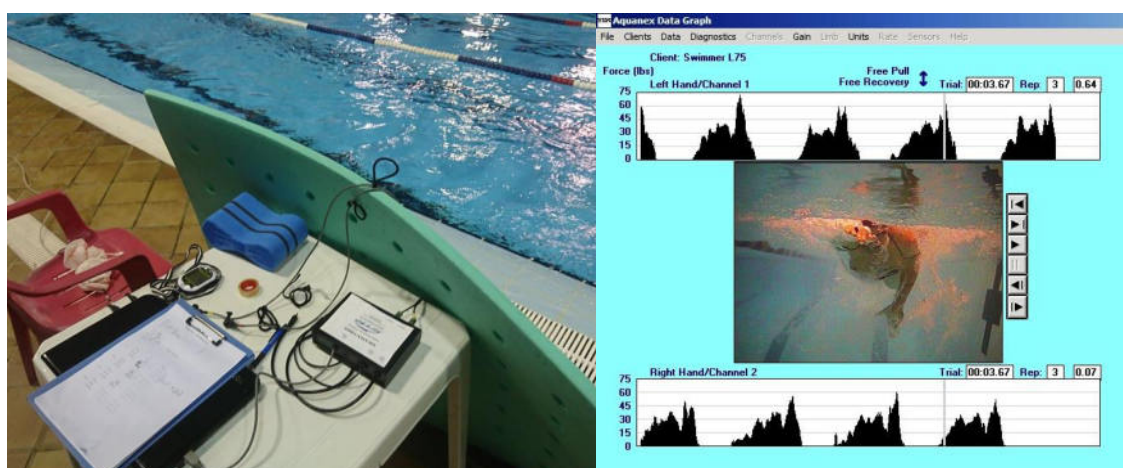


Figura 4 Disposição do hardware e respetivo software do sistema de pressões diferenciais

As 4 execuções à máxima velocidade diferiram no tipo de solicitação dos segmentos e na posição dos sensores de pressão da seguinte forma: (i) teste em nado completo com os sensores posicionados nas mãos entre o dedo médio e o anelar; (ii) teste em nado segmentar com os sensores posicionados nas mãos entre o dedo médio e o anelar; (iii) teste em nado completo com os sensores posicionados nos pés entre o segundo e terceiro dedo (iv) teste em nado segmentar com os sensores posicionados nos pés entre o segundo e terceiro dedo. Estas condições foram executadas nas duas técnicas de nado alternadas.

A figura 5, mostra a instrumentação do sujeito momentos antes de uma das condições de execução.



Figura 5 Instrumentação do sujeito com o sistema de pressão diferencial.

Os indicadores desejados foram recolhidos diretamente pelo sistema e exportados posteriormente para o programa de análise acqKnowledge (AcqKnowledge v.3.5, Biopac Systems, Santa Barbara, USA). As curvas de valores de força foram suavizadas usando um filtro Butterworth passa-baixa de 4ª ordem com uma frequência de corte de 5 Hz tal como feito previamente Formosa et al, (2009).

Como variáveis a analisar definiram-se a força máxima produzida por cada segmento nas suas ações propulsivas. O início da fase propulsiva foi considerado quando cada um dos sensores deteta a primeira frequência gestual. No final calculou-se a média de força máxima (F_{máx}, em newtons), correspondentes a 5 ciclos executados no intermédio de cada teste.

Após questionado aos sujeitos qual era a sua mão e pé dominantes, procedeu-se com o uso dos valores de força, ao cálculo do índice de assimetria (IS, em %) tal como descrito por Robinson et al. (1987) na seguinte equação:

$$0,5 \left\{ \frac{x - y}{x + y} \right\} \times 100$$

Onde (x) representa a força máxima, em newtons, aplicada pelo membro dominante, (y) representa a força máxima, em newtons, aplicada pelo membro não dominante.

De acordo com o proposto, considerou-se um valor de corte de 10% como referência para diagnosticar assimetrias na técnica de nado onde: (i) $\leq 10\%$, diagnóstico de nado simétrico; (ii) $> 10\%$, diagnóstico de nado assimétrico.

6.3 Procedimento Estatísticos

A análise exploratória inicial dos dados recolhidos constou na deteção de eventuais casos omissos ou erros na introdução de dados para todas as variáveis. Este processo foi realizado com recurso a tabelas descritivas elaboradas em folha de cálculo Excel. Para tratamento dos dados recolhidos foi utilizada a estatística descritiva determinando-se os parâmetros de tendência central (média), de dispersão (desvio padrão). A normalidade e homogeneidade da amostra foram avaliadas com recurso aos testes de *Kolmogorov-Smirnov* e *Levene*, respetivamente. Dado que a normalidade não foi verificada e devido ao reduzido valor de N, recorreu-se à estatística não paramétrica para a abordagem inferencial. Recorreu-se ao teste de Wilcoxon para a comparação das forças produzidas entre as diferentes condições de exercitação (nado completo vs nado segmentar), entre os diferentes segmentos (braço dominante vs braço não dominante) e diferentes técnicas de nado (crol vs costas) com um nível de significância de 5%.

7. Resultados

A secção que se segue do presente documento visa expor os resultados encontrados de acordo com os procedimentos experimentais realizados. Assim optamos por, numa primeira fase, demonstrar e interpretar numa perspetiva qualitativa o formato das curvas obtidas nas diferentes condições e técnicas de nado. Seguidamente expostos os resultados por meio de estatística descritiva e inferencial seguindo esse mesmo raciocínio.

A figura 6 representa a frequência e amplitude de aplicação da força por parte dos dois membros superiores na técnica de crol segundo as condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Qualitativamente, verifica-se uma menor frequência na aplicabilidade da força quando realizando a ação de braços com pullboy do que quando nadado o crol completo. Já na amplitude, as curvas de aplicação da força parecem ter perfis semelhantes.

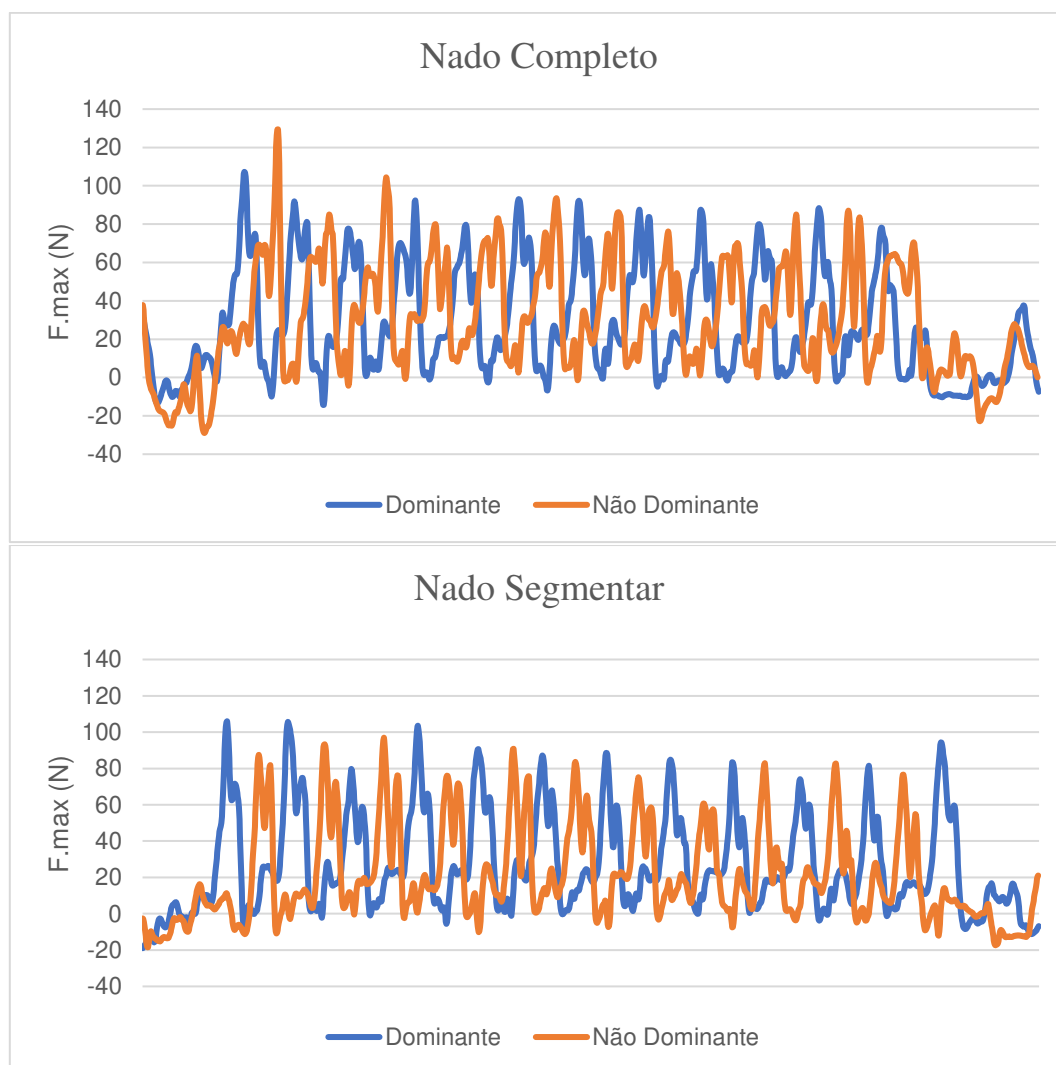


Figura 6 Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros superiores na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b).

A figura 7 representa a frequência e amplitude de aplicação da força por parte dos dois membros superiores na técnica de costas segundo as condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Qualitativamente, verifica-se uma maior frequência na aplicabilidade da força quando realizando a ação de braços com pullboy do que quando nadado o crol completo. Já na amplitude, verifica-se uma maior amplitude de força quando realizada a ação de nado completo comparativamente com o nado segmentar.

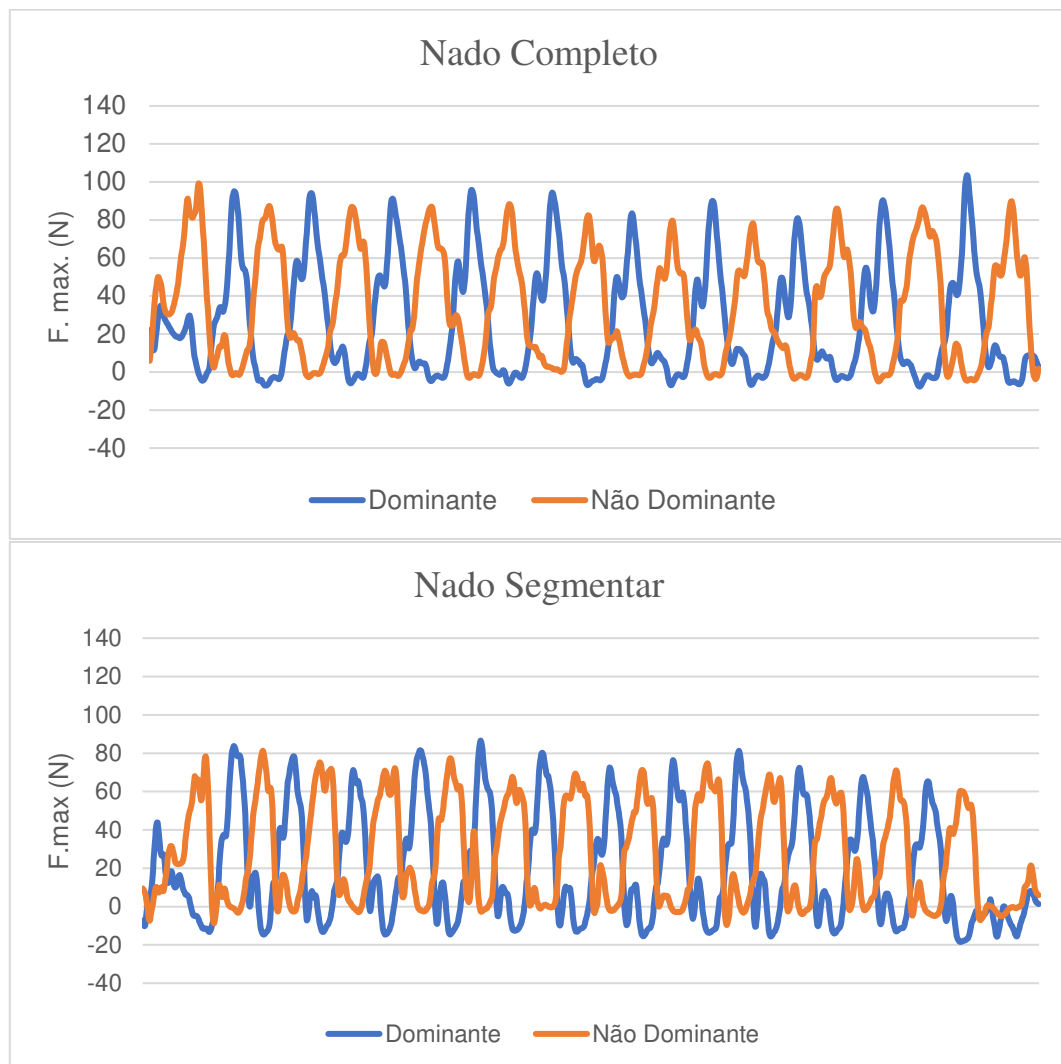


Figura 7 Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros superiores na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b).

A figura 8 representa a frequência e amplitude de aplicação da força por parte dos dois membros inferiores na técnica de crol segundo as condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Qualitativamente, verifica-se uma maior frequência na aplicabilidade da força quando realizando a ação de pernas no nado segmentar do que quando nadado o crol completo. Já na amplitude, verifica-se uma maior amplitude de força quando realizada a ação de nado segmentar comparativamente com o nado completo.

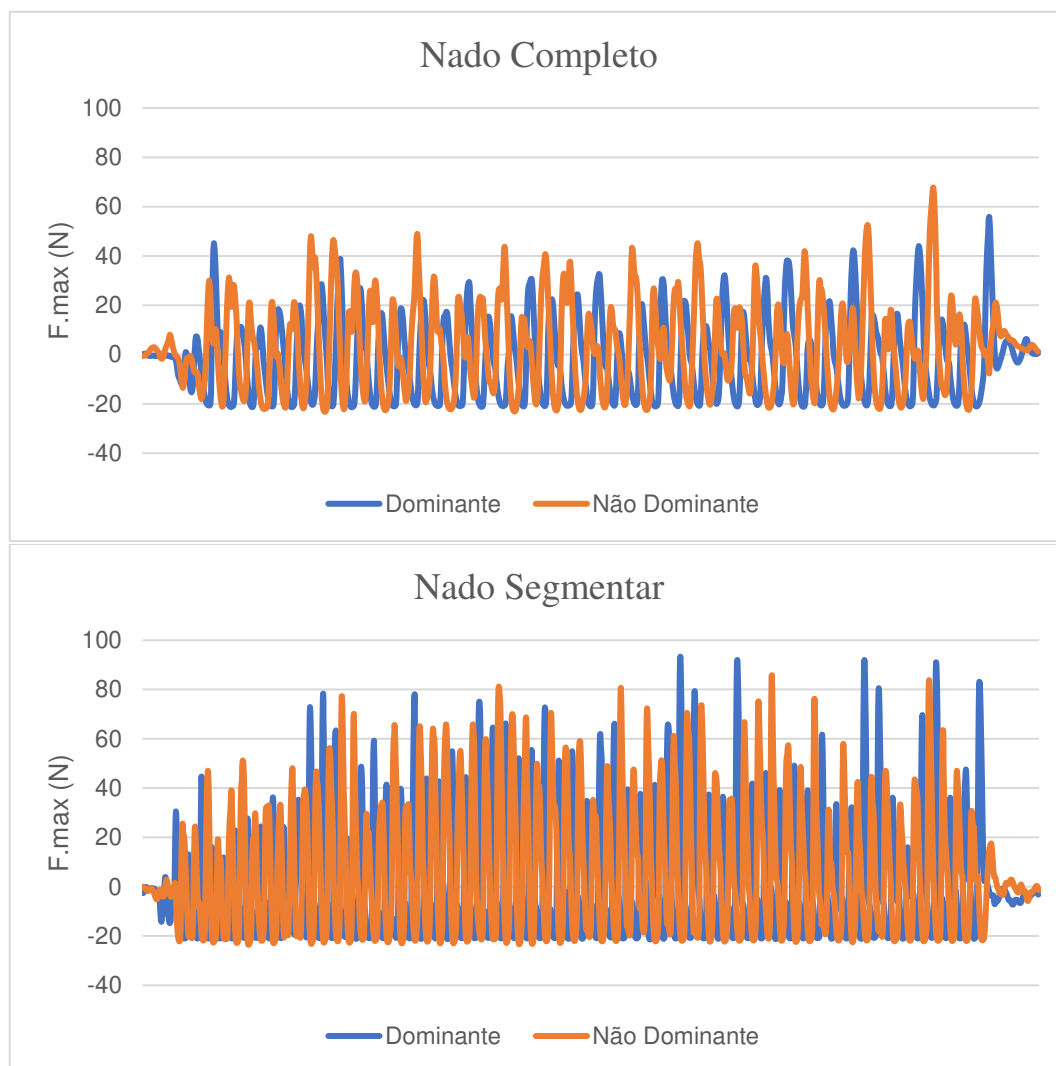


Figura 8 Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros inferior na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b).

A figura 9 representa a frequência e amplitude de aplicação da força por parte dos dois membros inferiores na técnica de costas segundo as condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Qualitativamente, verifica-se uma maior frequência na aplicabilidade da força quando realizando a ação de pernas no nado segmentar do que quando nadado o costas completo. Já na amplitude, verifica-se uma maior amplitude de força quando realizada a ação de nado segmentar comparativamente com o nado completo. Verifica-se ainda uma maior amplitude de aplicação de força no membro dominante em ambas as condições de nado.

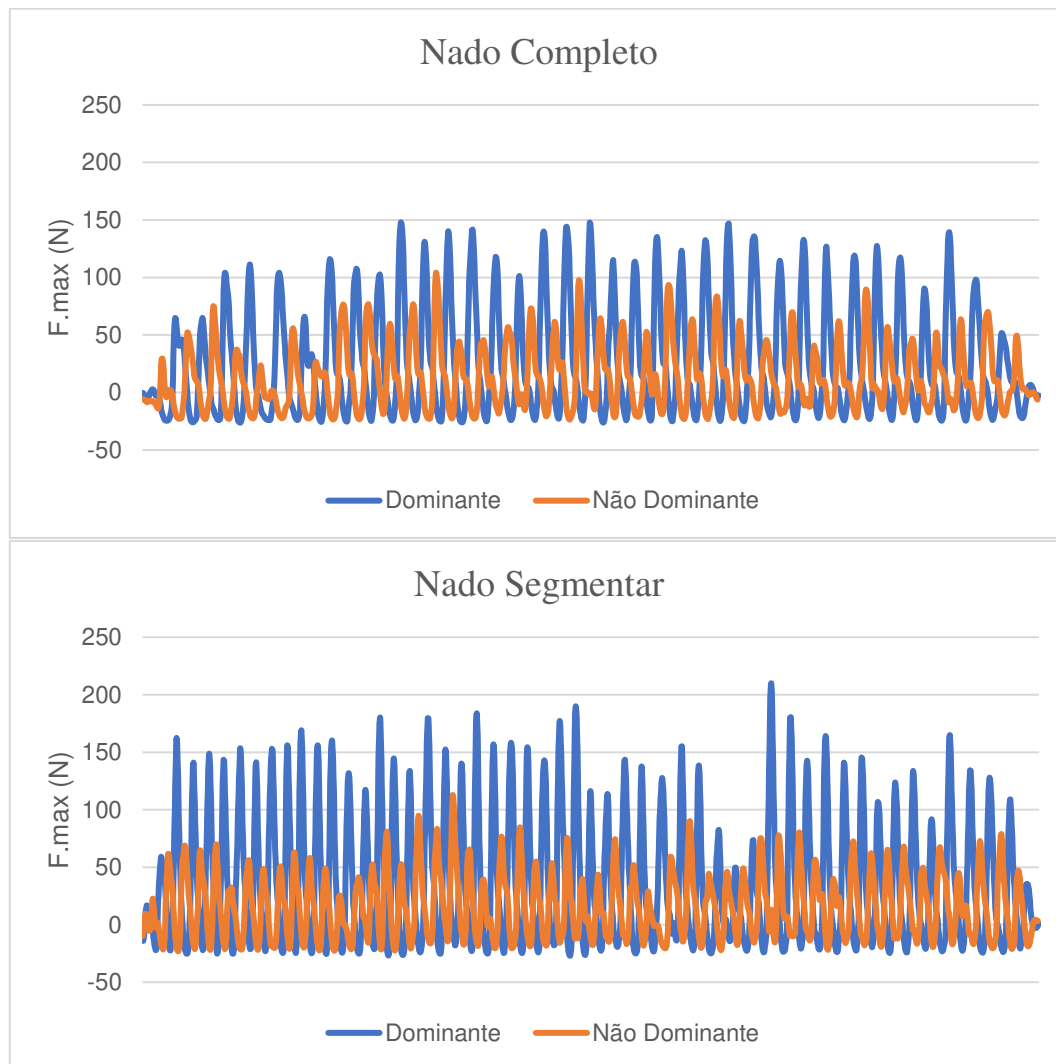


Figura 9 Análise qualitativa da frequência e amplitude durante a aplicação da força dos membros inferior na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e nado segmentar (painel b).

Na Figura 10 representa a comparação da força máxima produzida pelos membros superiores, na técnica de crol durante a condição de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Na condição de nado completo verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $103,91 \pm 43,97$ N para o braço não dominante e de $96,80 \pm 35,97$ N para o braço dominante. Na condição de nado segmentar verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $105,28 \pm 44,54$ N para o braço não dominante e de $107,25 \pm 46,66$ N para o braço dominante. Neste caso não se verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força por parte dos dois membros tanto na condição de nado completo ($p = 0,311$) como na condição de nado segmentar ($p = 0,753$). Adicionalmente, não existiram diferenças na produção de força quando comparadas as duas condições de execução quer na ação do membro não dominante ($p = 0,917$), quer na ação do membro dominante ($p = 0,311$).

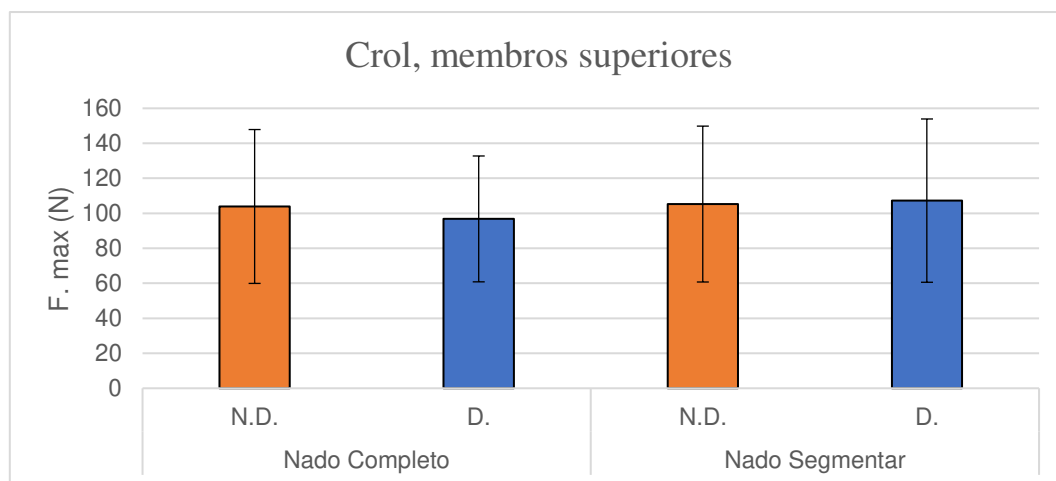


Figura 10 Valores de Força propulsiva dos membros superiores na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b).

A Figura 11 representa a comparação da força máxima produzida pelos membros superiores, na técnica de costas durante a condição de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Na condição de nado completo verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $89,79 \pm 31,57$ N para o braço não dominante e de $88,49 \pm 34,24$ N para o braço dominante. Na condição de nado segmentar verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $85,79 \pm 34,67$ N para o braço não dominante e de $84,11 \pm 33,16$ N para o braço dominante. Neste caso não se verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força por parte dos dois membros tanto na condição de nado completo ($p = 0,65$) como na condição de nado segmentar ($p = 0,86$). Adicionalmente, não existiram diferenças na produção de força quando comparadas as duas condições de execução quer na ação do membro não dominante ($p = 0,60$), quer na ação do membro dominante ($p = 0,382$).

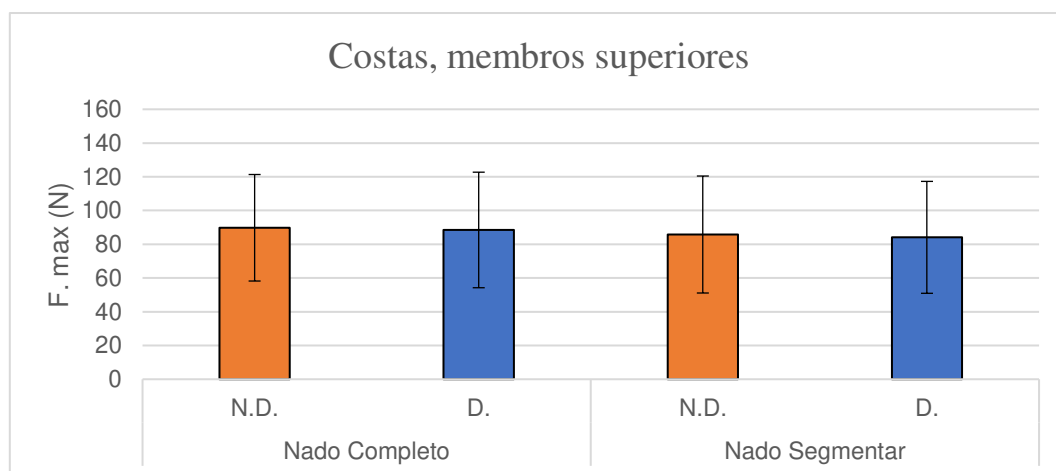


Figura 11 Valores de Força propulsiva dos membros superiores na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b).

A Figura 12 representa a comparação da força máxima produzida pelos membros inferiores, na técnica de crol durante a condição de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Na condição de nado completo verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $120,27 \pm 65,81$ N para o braço não dominante e de $107,74 \pm 82,54$ N para o braço dominante. Na condição de nado segmentar verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $128,46 \pm 70,29$ N para o braço não dominante e de $120,53 \pm 62,46$ N para o braço dominante. Neste caso não se verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força por parte dos dois membros tanto na condição de nado completo ($p = 0,17$) como na condição de nado segmentar ($p = 0,51$). Adicionalmente, não existiram diferenças na produção de força quando comparadas as duas condições de execução quer na ação do membro não dominante ($p = 0,08$), quer na ação do membro dominante ($p = 0,25$).

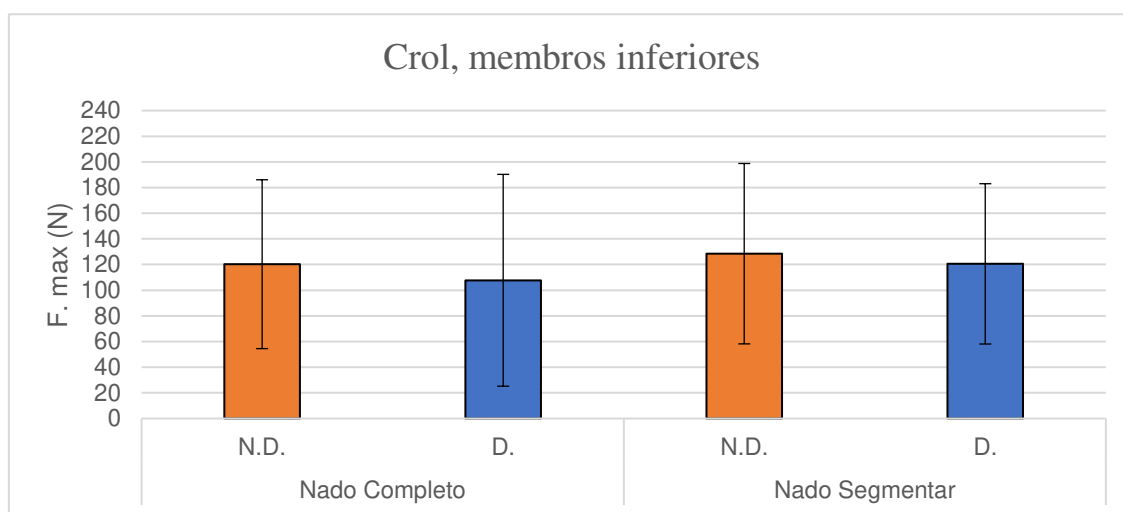


Figura 12 Valores de Força propulsiva dos membros inferiores na técnica de crol nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b).

A Figura 13 representa a comparação da força máxima produzida pelos membros inferiores, na técnica de costas durante a condição de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b). Na condição de nado completo verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $139,02 \pm 74,96$ N para o braço não dominante e de $148,44 \pm 77,23$ N para o braço dominante. Na condição de nado segmentar verificamos valores de $F_{\text{máx}}$ de $131,41 \pm 61,13$ N para o braço não dominante e de $148,69 \pm 73,15$ N para o braço dominante. Neste caso não se verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força por parte dos dois membros tanto na condição de nado completo ($p = 0,70$) como na condição de nado segmentar ($p = 0,17$). Adicionalmente, não existiram diferenças na produção de força quando comparadas as duas condições de execução quer na ação do membro não dominante ($p = 0,75$), quer na ação do membro dominante ($p = 0,65$).

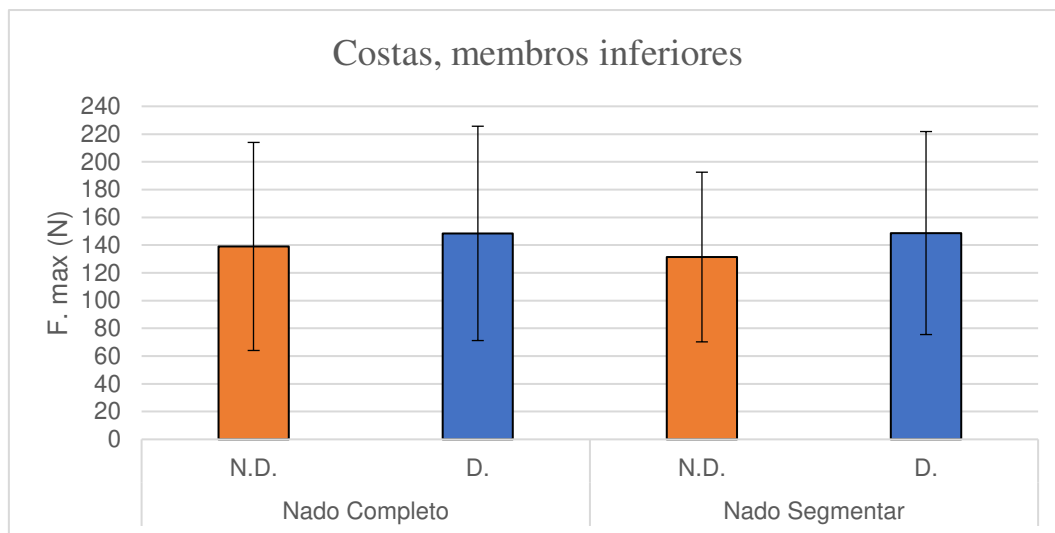


Figura 13 Valores de Força propulsiva dos membros inferiores na técnica de costas nas condições de nado completo (painel a) e de nado segmentar (painel b).

A Figura 14 representa a comparação da força máxima entre técnicas de nado produzida pelos membros superiores na condição de nado completo, durante o nado crol (painel a) e o nado costas (painel b). Neste caso não se verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força por parte das duas técnicas de nado tanto na ação do membro não dominante ($p = 0,06$), quer na ação do membro dominante ($p = 0,12$).

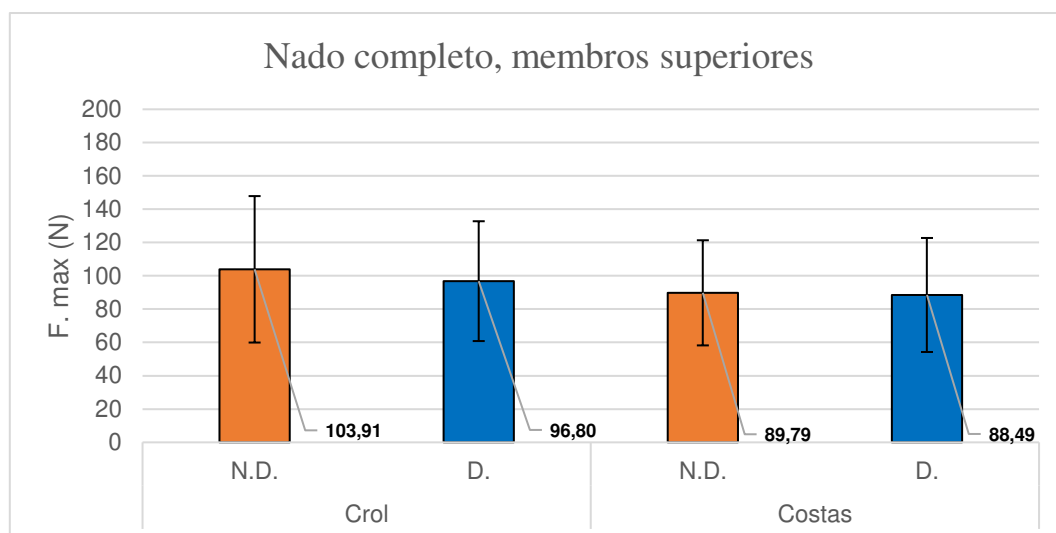


Figura 14 Valores de Força propulsiva dos membros superiores na condição de nado completo, no nado crol (painel a) e no nado costas (painel b).

A Figura 15 representa a comparação da força máxima entre estilos de nado produzida pelos membros inferiores na condição de nado completo, durante o nado crol (painel a) e o nado costas (painel b). Neste caso verificaram diferenças significativas quando comparada a produção de força por parte dos dois técnicas de nado na ação do membro dominante ($p < 0,01$), e do membro não dominante ($p = 0,05$).

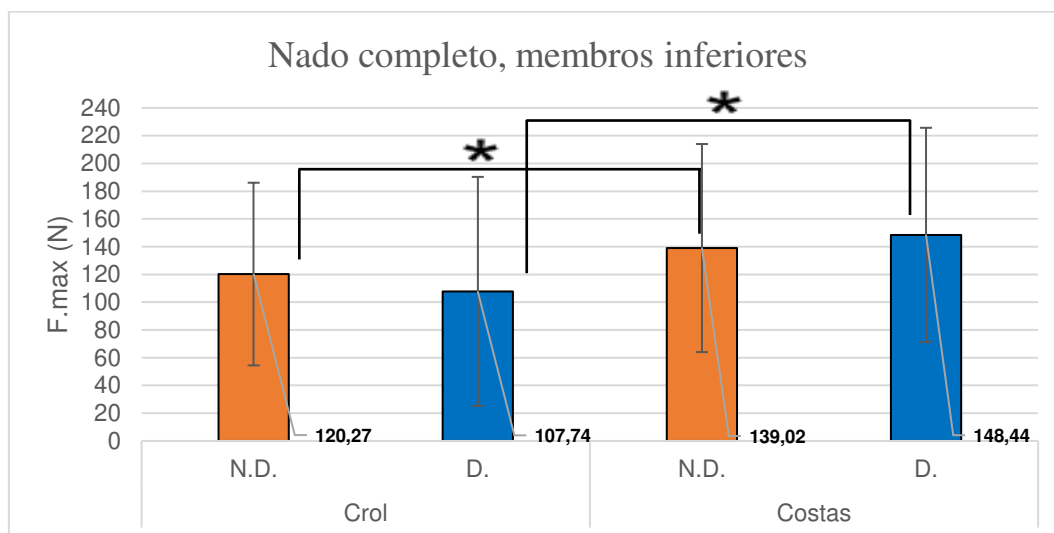


Figura 15 Valores de Força propulsiva dos membros inferiores na condição de nado completo, no nado crol (painel a) e no nado costas (painel b).

A Figura 16 e Figura 17, reporta-se ao índice de assimetria (IS). Como descrito por Robinson et al (1987), um $IS > 10\%$ é considerado como podendo induzir assimetrias na técnica de nado. Verifica-se uma condição de nado simétrico somente no estilo de nado costas dos membros superiores na condição de nado segmentar (9,31%), mas muito próximo do valor de corte. Observa-se também uma ligeira tendência para uma diminuição da percentagem do IS quando os nadadores passam de nado completo para nado segmentar.

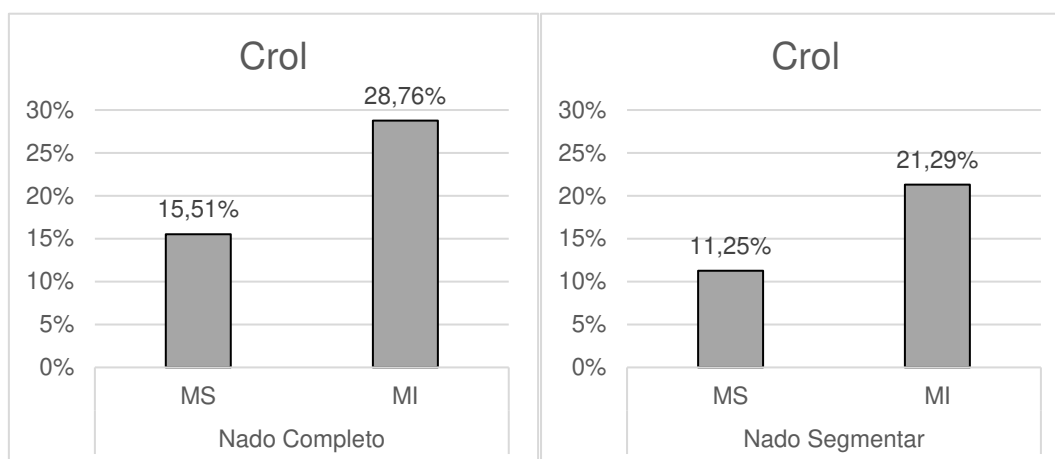


Figura 16 Índice de simetria nas condições de nado completo e nado segmentar na técnica de crol.

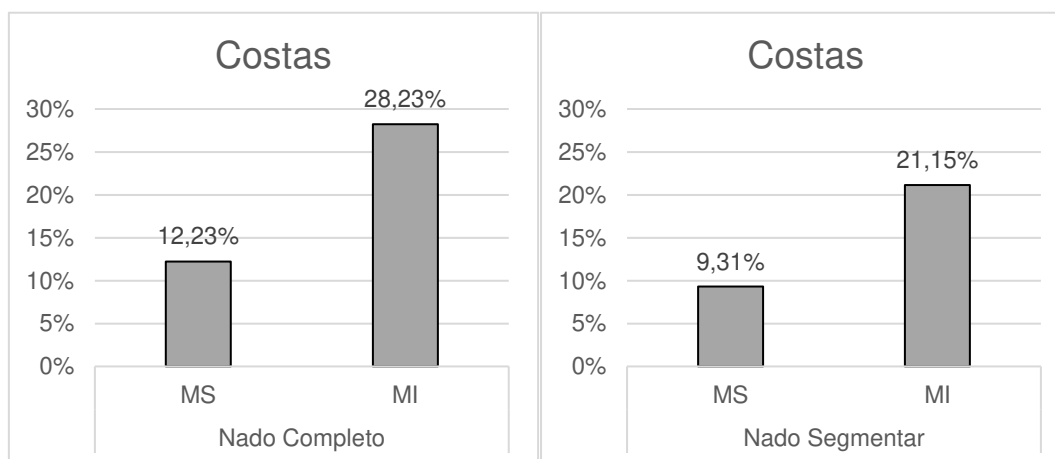


Figura 17 Índice de simetria nas condições de nado completo e nado segmentar na técnica de costas.

8. Discussão

Foi objetivo deste trabalho efetuar uma análise e comparação da força propulsiva e possíveis assimetrias entre as técnicas de nado alternadas em condição de nado completo e de nado segmentar. Na generalidade não se verificaram diferenças na produção de força quando analisados os dois membros superiores nas duas técnicas de nado, com a exceção dos membros inferiores. Parece observar-se uma tendência para se obterem padrões de nado mais assimétricos em condições de nado completo do que em nado segmentar (só pernas ou só braços).

Sendo um estudo com elevada conotação prática procurou-se nesta intervenção recorrer a equipamentos que pudessem ser facilmente manipulados e dominados no terreno por qualquer treinador interessado nesta vertente. Dada a inexistência de estudos deste âmbito na literatura, e assumindo uma perspetiva ecológica, optou-se por usar o equipamento Aquanex System. Consideramos uma vantagem o uso deste equipamento em detrimento de outros por: (i) evidenciar uma extrema facilidade operacional, tanto na preparação do hardware/software, como na aquisição de dados; (ii) permitir adquirir os dados numa condição mais próxima do nado real (iii) recolher todos os parâmetros no domínio da cinética com um único sistema de avaliação.

Aliás, este é um equipamento previamente validado (Havriluk, R, 1988) e com aplicabilidade em diferentes atividades aquáticas (Havriluk R., 2007, Becker, T., e Havriluk, R. 2006). Contudo, estamos cientes que, tal como outros, este é um equipamento que possui limitações. De entre estas podemos destacar: (i) a incapacidade do sensor de pressão estar direcionado para a massa de água movida em algumas trajetórias da fase propulsiva da braçada, podendo por isso subestimar alguns valores; (ii) a movimentação dos cabos de transmissão de dados requerer bastante atenção, para não afetar o nado do atleta; (iii) dificuldade na fixação dos sensores de pressão de forma a que estes não se soltem. Mesmo assim, e tendo em conta o exposto, estamos em crer que é uma ferramenta útil e uma mais-valia para quem se queira focar nesta análise concreta da força propulsiva em meio aquático.

No que toca aos resultados numa perspetiva qualitativa, observamos que o nado segmentar apresentou, na maioria dos casos, uma maior frequência e amplitude das curvas comparativamente com o nado completo.

Numa perspetiva quantitativa, e quando analisados os valores de força máxima, quando comparamos membro dominante e membro não dominante em ambas as técnicas e condições de nado não existem diferenças significativas. Contudo, e se assumirmos uma perspetiva do treinador, os valores de força são aparentemente diferentes. Mesmo sabendo que certo nível de assimetria é aceitável devido às diferenças inerentes ao corpo humano (Jaszczak M, 2008) a

diferença bilateral na produção de força durante o nado pode ser um fator limitante do desempenho (Havriluk R, 2007). À luz daquilo que está presente na literatura, os valores aqui encontrados parecem ser mais baixos quando analisados estudos que se focaram em técnicas simultâneas. No estudo de Santos, et al (2013) verificaram-se valores de produção de força em torno de 110-114N, muito próximos dos encontrados no nosso estudo que foram de 96-103N. As diferenças observadas entre estudos, com maiores valores no estudo de Santos, et al (2013) podem estar relacionadas com: (i) as diferentes idades, o que reflete uma maior capacidade de produção de força; (ii) o nível competitivo mais elevado por parte dos nadadores retratado pela % do recorde do mundo e, (iii) a ausência de filtro na suavização dos dados. Mesmo assim, acreditamos que os valores poderiam ser mais esclarecedores caso no nosso estudo conseguíssemos obter uma amostra mais robusta em termos de número.

Relativamente aos valores de força máxima quando comparamos técnicas de nado não verificamos diferenças significativas entre técnicas nos membros superiores. Acreditamos que a similitude do movimento (alterando) pode ser apontada como uma forma de justificar. Contudo, as áreas plantar e palmar que entram em contacto com a massa de água são semelhantes nas duas técnicas o que pode justificar este fenómeno. Apesar disso, observou-se uma diferença significativa na produção de força dos membros inferiores com maiores valores força serem visíveis na técnica de costas. Acreditamos que esta dado possa surgir por especificidades na técnicas de costas onde se destaca o ângulo de inclinação do tronco em relação à superfície. Eventualmente, pode a totalidade ou quase total amplitude da pernada de ter sido feita dentro de água, enquanto que em crol o sensor por vezes pode ter saído fora e não ter tido uma aquisição de valores tão elevados. Uma segunda causa pode parecer ter a ver com a posição do pé, que em costas assuma uma inversão e orientação do dedo grande mais interna podendo aproveitar com maior potencial, dado que a braçada possa não estar tão aprimorada. Mesmo assim, do nosso conhecimento não existem estudos na literatura que possam servir como meio comparativo e poder tirar outras conclusões desta análise.

Por fim, quando analisado o índice de simetria, verificou-se verificaram-se valores bem acima dos 10% com apenas o valor na técnica de costas e na condição de nado segmentar (só braços) com 9,31%. Estes parecem ser dados em linha com a literatura existente. No seu estudo com mariposistas, Santos et al. (2013), verificaram que a maioria dos nadadores apresentou valores superiores a 10%, o que é notório de um nado assimétrico. O índice de simetria parece ser importante para diagnosticar desequilíbrios técnicos ainda que não se manifestem diferenças com significado estatístico na produção de força. Este aspeto aos olhos do treinador e/ou professor de natação é importante como forma de poder atuar de imediato e desenhar drills técnicos que possam ajudar no processo. Daqui, parece ainda que se verifica uma ligeira tendência para uma

diminuição da percentagem do IS quando o nadador passa de nado completo para nado segmentar. Por exemplo, com pull-boy nas pernas ou com prancha nas mãos, parece que existe uma menor probabilidade de se verificarem assimetrias do que quando a técnica é nadada de forma completa (braços + pernas). Este é um dado que segue em concordância com a literatura. Raul et al (2016) relatam que apesar de mais complexos, os padrões de nado de crol dos membros superiores são os mais previsíveis, seguidos pelo crol dos membros inferiores e dos crol completo CMI e CC, sugerindo que variantes de nado com a ação de somente 2 segmentos (membros inferiores e membros superiores) são mais previsíveis do que a variante que utiliza os 4 segmentos (completo). Provavelmente, ao se isolar uma única secção do corpo (MS ou MI) não exige tanta coordenação inter-segmentar, o que permite concentrar a ação apenas focando a simetria, e potenciar o gesto técnico. Por isso mesmo, é que o modelo de ensino sustenta primeiro ensinar segmentos de forma isolada e aumentar a inclusão de outros até chegar ao movimento global (tal como preconiza o método sintético ou misto no âmbito do ensino da natação).

Dada a inexistência de diferenças, pode-se assim sustentar o ensino simultâneo e trabalho técnico de crol e costas, pela semelhança na complexidade motora e na aplicabilidade de força dentro de água. Vários autores apontam para esta semelhança na complexidade entre crol e costas com recurso a dados não lineares. Bartolomeu et al (2016) verificaram que a complexidade e predicabilidade das técnicas alternadas apresentaram-se muito semelhantes. Aliás, os autores verificaram que estas são menos complexas e mais preditivas do que as técnicas de nado simultâneas, o que de certa forma vem justificar o paradigma atual no ensino da natação, onde o crol e o costas são ensinados ao mesmo tempo em termos temporais.

Parece-nos importante focar este aspeto, alertando os professores de natação e treinadores no sentido de terem sensibilidade e especial cuidado na transição no ensino ou em drills de treino de nado de condição segmentar para condição de nado completo. Reforça-se a necessidade de incutir nos alunos ou atleta a qualidade técnica de modo a promover o nado simétrico, reforçando as condições de rotação longitudinal do corpo e a trajetória dos segmentos como pontos importantes.

9. Conclusão

Após apresentado e debatidos os resultados é altura de retirar as principais considerações finais deste projeto final de tese.

- Não se verificaram diferenças na força propulsiva na ação entre membros superiores em qualquer das duas técnicas. Logo, parece não se confirmar a hipótese 1.
- Não se verificaram diferenças na força propulsiva na ação entre membros inferiores em qualquer das duas técnicas. Logo, parece não se confirmar a hipótese 2.
- Verificaram diferenças na força propulsiva na ação entre as duas técnicas de nado nos membros inferiores na condição de nado completo. Logo, confirma-se parcialmente a hipótese 3.
- Não se verificaram diferenças nos valores de simetria entre as duas técnicas de nado. Logo, parece não se confirmar a hipótese 4.

Acreditamos que o aquanex é uma ferramenta bastante viável no meio científico, não só para medições de força propulsivas e avaliação de assimetrias, mas também para possíveis prevenções de lesões associadas aos nadadores de competição. Realço também a importância do aquanex na vida do treinador de natação para uma avaliação mais individualizada dos atletas para obtenção de melhores resultados.

10. Propostas Futuras

Tendo em conta o atual estado da arte e o contributo que estes dados poderão adicionar, sugerimos como intervenções futuras as seguintes abordagens:

- Analisar e comparar a força propulsiva e assimetrias entre as técnicas de nado simultâneas;
- Analisar e comparar os valores de força propulsiva e assimetrias na mesma técnica de nado mas em níveis competitivos distintos;
- Analisar e comparar os valores de força propulsiva e assimetrias ao longo da evolução maturacional dos nadadores;
- Analisar e comparar os valores de força propulsiva e assimetrias a longo de uma época desportiva incluindo o efeito do destreino;

11. Bibliografia

- Alves, F. (1995). Economia de nado e prestação competitiva – determinantes mecânicas e metabólicas nas técnicas alternadas. Dissertação de Doutoramento. Lisboa: FMH-UTL.
- Antonio Jose Costa, Marques, Aldo Matos da Costa e António Teixeira Marques. (2009). Identificação de Talentos no Desporto: Um modelo operativo para a natação. Texto Editores
- Amaro N, Marinho DA, Batalha N, Marques MC, Morouço P. J Hum Kinet. (2014) Reliability of tethered swimming evaluation in age group swimmers. Jul 8;41:155-62. doi: 10.2478/hukin-2014-0043. eCollection 2014 Jun 28.
- Bachlin, M., Forster, K. & Troster, G. (2009). SwimMaster: A wearable assistant for swimmer. Orlando, Florida.
- Barbosa TM, Costa MJ, Marinho DA (2013) Proposal of a deterministic model to explain swimming performance. International Journal of Swimming Kinetics, 2(1): 1-54.
- Barbosa, Tiago M.; Queirós, Telma Maria Gonçalves (2005). Manual prático de actividades aquáticas e hidroginástica. Lisboa: Xistarca, Promoções e Publicações Desportivas. Lda.
- Becker, T., & Havriluk, R. (2006). Bilateral and anterior-posterior muscular imbalances in swimmers. In J. P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (Eds.), X Biomechanics and Medicine in Swimming. PJSS, 6(2): 327-328
- Callaway, A. J., Cobb, J. E. & Jones, I., (2009). A Comparison of Video and Accelerometer Based Approaches Applied to Performance Monitoring in Swimming. International Journal of Sports Science & Coaching, Volume 4, pp. 139-153.
- Carpes, F. (2009). Relação entre simetria bilateral e aspectos neuromusculares e de treinamento dos membros inferiores. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado.
- Chollet, Chalie, Chatard,(2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. International Journal of Sports Medicine v21, pp.54-59.
- Colwin, C. (1992). Swimming into the 21st century. Champaign. Leisure Press
- Counsilman, J. Brown,. (1971). The role of lift in propelling the swimmer. In Cooper, J.M. (eds). Selected Topics on Biomechanics: Proceedings of the C.I.C. Symposium on Biomechanics (p.179-188). Chicago: Athletic Institute
- Davey, N., Anderson, M. & James, D. A., (2008). Validation Trial of an Accelerometer-based Sensor Platform for Swimming. Sports Technology, Volume 1, pp. 202-207.
- Dopsaj, M., Matkovic, I., Thanopoulos, V., & Okicic, T. (2003). Reliability and validity of basic Kinematics and mechanical characteristics of pulling force in swimmers

measured by the method of tethered swimming with maximum intensity of 60 seconds. Physical education and sports, pp.1-22.

- Evershed J, Burkett B, Mellifont R. (2014) Musculoskeletal screening to detect asymmetry in swimming. *Phys Ther Sport*. Feb;15(1):33-8.
- Formosa, D. P., Mason B. R. & Burkett, B. (2009). Measuring propulsive force within the different phases of backstroke swimming. In A. J. Harrison, R. Anderson & I. Kenny (Eds.), *Proceedings of the XXVII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 98-101), Ireland.
- Hagem, R. M., O'Keefe, S. G., Fickenscher, T. & Thiel, D. V., (2013). Self Contained Adaptable Optical Wireless Communications System for Stroke Rate During Swimming. *IEEE Sensors Journal*, Volume 13, pp. 3144-3151.
- Havriluk R.(2007) Analyzing hand force in swimming: bilateral symmetry. *Am Swim Mag*.1:34-8.
- Havriluk, R. (1988). Validation of a criterion measure for swimming technique. *Journal of Swimming Research*, 4(4), 11-16.
- Hay J. (1981). *Biomecânica das técnicas desportivas*. Rio de Janeiro: Interamericana;
- Hay, J.G. (1988). The status of research on the biomechanics of swimming. In: .E. Ungerechts, K. Wilke & K. Reischle (eds.). *Swimming Science V*, pp. 3-14. Human Kinetics Publishers. Champaign, IL.
- Jaszczak M, Zatón K. (2011) Dynamical asymmetry of upper-limb movements during swimming. *Hum Mov*.12: pp. 337-41.
- Jaszczak M. (2008) The dynamical asymmetry of the upper extremities during symmetrical exercises. *Human Mov*.9: pp.116-20.
- Jaszczak M. (2011) the influence of lower limb movement on upper limb movement symmetry while swimming the breaststroke. *BiolSport*28: pp. 207-11.
- Keskinen, K-L-(1997). Evaluation of technique performances in freestyle swimming. *Kinesiology*,2(1), 30-28.
- Kudo, S.;Vennell, R.; Wilson, B.;Takagi,H vennell, R. (2008). Prediction of fluid forces acting on hand model in unsteady flow conditions. *Journal of Biomechanics*, New York, v41, n5, p.1131-1136.
- Loss, J.F.; Soares, D.P.; Cañeiro, J.P.; Aldabe, D.; Ribeiro, D.C.; Oliveira, I.G (2006). o uso da dinâmica inversa em situações envolvendo cadeia cinética aberta. *Revista brasileira de biomecânica*, v. 7, n. 12, p. 23- 32.
- Maglischo, E. (1993). *Swimming even faster*. Mayfield publishers. Mountain view, ca.
- Marinho DA, Barbosa TM, Kjendlie PL, Vilas-Boas JP, Alves FB, Rouboa AI, Silva AJ. (2009) Swimming simulation: a new tool for swimming research and practical

- applications. In, M. Peters (editors). Computational Fluid Dynamics for Sport Simulation, Lecture Notes in Computational Science and Engineering 72. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. p. 33-61.
- Marinho DA, Silva AJ, Reis, VM, et al. (2011) Three-Dimensional CFD analysis of the hand and forearm in swimming. J Appl Biomech: pp:74-80
 - McGinnis, (2015). biomecânica do esporte e do exercício. porto alegre: artmed,
 - Morais, J. F. (2011). Desenvolvimento e validação de equações preditivas da área de secção transversa do tronco baseadas em determinadas características antropométricas. Bragança: Dissertação de Mestrado em Exercício e Saúde.
 - Moré, F.; Carpes, F; Castro, A (2007). Simetria das forças no nado crawl: influência da respiração. In: XII Congresso Brasileiro de Biomecânica, 2007, São Pedro. Anais do XII Congresso Brasileiro de Biomecânica. São Paulo; TEC ART. p. 518-23
 - Morouço P, Keskinen KL, Vilas-Boas JP, (2011) Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. J Appl Biomech. pp:161
 - Morouço P, Marinho D, Marques MC. (2010) Force production in tethered swimming: differences between hands in front crawl. Med Sci Sports Exerc.
 - Morouço, P. (2014). Quantification of upper limb kinetic asymmetries in front crawl swimming. Human Movement Science, v.40, n. 1, pp. 185-192
 - Morouço, P., Keskinen, K.L., Vilas-Boas, J.P., Fernandes, R-J. (2011) Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. Journal of applied Biomechanics, 27, 161-169
 - Psycharakis, S.; Sanders, R (2008). Shoulder and hip roll changes during 200- m front crawl swimming. Medicine & Science in Sports & Exercise. v.40, n.12, p.2129-2136,
 - Quina J (2009). A organização do processo de ensino em Educação Física. Edição Instituto Politécnico de Bragança. Bragança
 - Ramos, R. J. (2011). O Efeito da Profundidade no Arrasto Hidrodinâmico em Natação. Covilhã: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre.
 - Raul f. Bartolomeu, Mário J. Costas, Tiago M. Barbosa (2016) Velocidade segmentar na técnica de crol. Atas do 40º Congresso Técnico Científico da Associação Portuguesa de Técnicos de Natação. Braga.
 - Robert Mooney, Gavin Corley, Alan Godfrey, Conor Osborough, John Newell, Leo Richard Quinlan & Gearóid ÓLaighin (2015): Analysis of swimming performance: perceptions and practices of US-based swimming coaches, Journal of Sports Sciences.

- Robinson RO, Herzog W, Nigg BM. (1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther.* Aug;10(4):172-6.
- Sanders R, Fairweather M, Alcock A. (2015) An approach to identifying the effect of technique asymmetries on body alignment in swimming exemplified by a case study of a breaststroke swimmer. *J Sports Sci Med.*14.
- Sanders R, Fairweather M. (2011) Asymmetries in swimming: where do they come from? *J Swim Res.*18: pp:1-6.
- Seifert, L.; Boulesteix, L.; Carter, M.; Chollet, D. (2005) The spatial-temporal and coordinative structures in elite male 100-m front crawl swimmers *International Journal of Sports Medicine.* v.26, n.4, p.286-293.
- Seifert, L.; Chollet, D.; Allard, P. (2005) Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. *Human Movement Science.* v.24, n.2, p.234-56.
- Silva, A.(2005). Cálculo da força propulsiva gerada pela mão e antebraço do nadador através da dinâmica computacional de fluidos. *Ver. Port. Cien. Desp.* 3, 288–297.
- Santos, K.; Pereira, G.; Papoti, M.; Bento, P.; Rodacki, A. (2013) Propulsive force asymmetry during tethered-swimming and 200m-front crawl performance. *Journal of Strength as conditioning Research, Champaign,* in press.
- Takagi,H.; Wilson, B. (1999) Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming. In: *Biomechanics and medicine in swimming, Proceedings of biomechanics and medicine in swimming VIII, University of Jyvaskyla,* pp.101-106
- Tourny-Chollet C, Seifert I, Chollet D. (2009) Effect of force symmetry on coordination in crawl. *Int J Sports Med.*pp:182-7.
- Toussaint, H. M. (2000). *Biomechanics of swimming. Exercise and Sport Science Philadelphia: W.E. Garrett and D.T. Kirkendall.* pp. 639-660.
- Toussaint, H. T.-J. (2002). Effect of a Fast-skin™ 'Body' Suit on Drag during Front Crawl Swimming. *Sports Biomechanics.*
- Toussaint,H.M. (2006) . Analysis of front-crawl swimming performance factors using the MAD-system: science meets practice. In P.Hellard, M.SSidney, C. Fauquet, D. Lehénaff(eds.). *Proceedings frist international symposium sciences and pratices in swimming* (pp. 51-57). France: Atlantica.
- Ungerechts, B.E. (1985). Consideration of the butterfly kick based on hydrodynamical experiments. In: Perren, S.M., & Schneider, E. (eds.). *Developments in Biomechanics.* pp. 705-710. Nijhoff: Dordrecht.
- Vilas-Boas JP, Costa L, Fernandes R, Ribeiro J, Figueiredo P, Marinho D, Silva A, Rouboa A, Machado L. (2008) Determinação do arrasto hidrodinâmico em duas posições

de deslize, por dinâmica inversa e por simulação computacional. In, II congresso Internacional de Biomecánica de Venezuela. Isla de Margarita: Ministério del Poder Popular para el Deporte de Venezuela;

- Vilas-Boas, J. P. (2016). Biomecânica no Desporto. Lisboa: IPDJ.
- Vilas-boas, j.p. (1987). O mecanismo propulsivo em natação. Provas de apcc. Isef-up. Porto.
- Zatsiorsky, V. (2000). Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention. Oxford, England: : Blackwell Science.

Anexos